RETScreen® International

Centre d'aide à la décision sur les énergies propres

www.retscreen.net

ANALYSE DE PROJETS D'ÉNERGIES PROPRES :
MANUEL D'INGÉNIERIE ET D'ÉTUDES DE CAS RETSCREEN®

Centre de la technologie de l'énergie de CANMET - Varennes (CTEC)

En collaboration avec

NASA

PNUE

GEF

CHAPITRE

ANALYSE DE PROJETS DE CHAUFFAGE À LA BIOMASSE

Exonération

Cette publication, diffusée à des fins uniquement didactiques, ne reflète pas nécessairement le point de vue du gouvernement du Canada et ne constitue en aucune façon une approbation des produits commerciaux ou des personnes que s'y sont mentionnées, quels qu'ils soient. De plus, pour ce qui est du contenu de cette publication, le gouvernement du Canada, ses ministres, ses fonctionnaires et ses employés ou agents n'offrent aucune garantie et n'assument aucune responsabilité.

© Ministre de Ressources naturelles Canada 2001 - 2005.

Ressources naturelles Canada | Natural Resources Canada

Canada

106-03309/

ISBN : 0-662-78828-1
Numéro de catalogue : M39-110/2005F-PDF

© Ministre de Ressources naturelles Canada 2001 - 2005.

TABLE DES MATIÈRES

1 CONTEXTE – PROJETS DE CHAUFFAGE À LA BIOMASSE 5

1.1 Description des systèmes de chauffage à la biomasse 7

1.1.1 Centrale de chauffage 7

1.1.2 Système de distribution de la chaleur 13

1.1.3 Approvisionnement en biomasse 14

1.2 Marchés des systèmes de chauffage à la biomasse 17

1.2.1 Réseaux de chauffage urbain 17

1.2.2 Bâtiments institutionnels et commerciaux individuels 18

1.2.3 Chaleur pour procédés industriels 19

1.3 Critères à considérer pour les projets de chauffage à la biomasse 20

2 MODÈLE RETSCREEN POUR PROJETS DE CHAUFFAGE À LA BIOMASSE 23

2.1 Caractéristiques du site 25

2.1.1 Température de calcul et degrés-jours 25

2.1.2 Degrés-jours équivalents pour la production d'eau chaude sanitaire 26

2.1.3 Courbe des puissances classées et courbe des énergies classées 27

2.1.4 Nombre d'heures équivalentes à plein régime 35

2.2 Besoins en chauffage 35

2.2.1 Charge de pointe en chauffage 35

2.2.2 Demande annuelle d'énergie en chauffage 36

2.2.3 Consommation de combustible (cas du système de référence) 37

2.3 Énergie fournie et consommation en combustible 38

2.3.1 Détermination des proportions des différentes sources d'énergie 38

2.3.2 Besoins en combustible pour le système de chauffage de pointe 40

2.3.3 Besoins annuels en biocombustible 40

2.4 Conception du réseau de chauffage urbain 42

2.5 Validation 44

2.5.1 Validation de la courbe des puissances classées 45

2.5.2 Valication du calcul des puissances calorifiques de la biomasse 48

2.5.3 Validation de la conception du réseau de chauffage urbain 50

2.6 Sommaire 52

RÉFÉRENCES 53

CHAPITRE
ANALYSE DE PROJETS DE CHAUFFAGE À LA BIOMASSE

*Le manuel **Analyse de projets d'énergies propres : Manuel d'ingénierie et d'études de cas RETScreen®** est un document de référence électronique destiné aux professionnels et aux étudiants universitaires. Le présent chapitre couvre l'analyse de projets potentiels de chauffage à la biomasse avec le logiciel d'analyse de projets d'énergies propres RETScreen® International; il présente le contexte de ces projets ainsi qu'une description détaillée des algorithmes utilisés dans le logiciel RETScreen®. Une collection d'études de cas, comprenant mandats, solutions et informations sur comment ces projets se sont comportés dans la réalité, est disponible sur le site Web du Centre d'aide à la décision sur les énergies propres RETScreen® International* www.retscreen.net.

1 CONTEXTE - PROJETS DE CHAUFFAGE À LA BIOMASSE[1]

Les systèmes de chauffage à la biomasse brûlent des matières végétales et organiques, telles que des copeaux de bois, des résidus agricoles et même des déchets municipaux, pour générer de la chaleur. Cette chaleur peut être transportée et utilisée où elle est requise, pour le chauffage et la ventilation de bâtiments isolés ou en réseau, ou encore pour des procédés industriels. Les systèmes de chauffage à la biomasse se distinguent de la combustion conventionnelle, dans les poêles à bois et les foyers, en contrôlant le mélange d'air et de biocombustible[2] pour maximiser le rendement et minimiser les émissions. Ils incluent aussi un système de distribution qui transporte la chaleur du lieu de combustion au lieu où elle est requise. Plusieurs systèmes de chauffage à la biomasse comprennent un mécanisme d'alimentation automatique en biocombustible. La ***Figure 1*** présente un petit système commercial de chauffage à la biomasse.

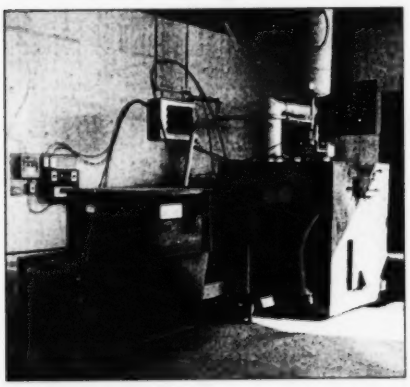


Figure 1 :
Petit système commercial de chauffage à la biomasse.

Crédit photo :
Grove Wood Heat

1. Une partie du texte de cette section provient de deux rapports de Ressources naturelles Canada (RNCan) : ***Les petites installations de chauffage à la biomasse : Guide de l'acheteur***, RNCan, 2000; et McCallum, B. ***Les petites installations de chauffage à la biomasse automatisées : une option viable pour les communautés éloignés ?*** Centre de Foresterie des Grands Lacs et LRDEC de RNCan, 1997.
2. Le terme « biocombustible » est défini comme un combustible obtenu, dans son ensemble ou en partie, par traitement chimique ou géologique de la biomasse végétale (Le grand dictionnaire terminologique. Office de la langue française, 1984). Les biocombustibles ou les « combustibles à base de biomasse », rassemblent les combustibles solides d'origine végétale (biomasse) qui permettent la production d'énergie (chaleur ou/et électricité) (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME)).

Le chauffage à la biomasse n'est pas une nouveauté. Depuis longtemps, les gens utilisent des poêles et des fournaises alimentés avec des bûches pour chauffer les locaux. Le développement des systèmes de chauffage à la biomasse à alimentation automatique a débuté dans les années 70 en Scandinavie, lorsque les prix du pétrole ont explosé. Aujourd'hui, il existe des milliers de systèmes en opération à l'échelle mondiale qui utilisent une multitude de biomasses différentes. Malgré cela, de nombreux professionnels et spécialistes du chauffage, ainsi que le grand public, ne sont pas informés du caractère rentable, efficace et fiable des systèmes de chauffage à la biomasse. À cause des problèmes associés aux émissions de gaz à effet de serre, l'emphase a été mis récemment sur le remplacement des combustibles conventionnels par les sources d'énergie renouvelables, ce qui entraîne maintenant une résurgence de l'intérêt pour les systèmes de chauffage à la biomasse lorsque la biomasse est récoltée de manière durable.

Le chauffage à la biomasse offre de nombreux avantages au propriétaire du système ou à la communauté locale, dans le cas d'un réseau de chauffage urbain. Ce type de système peut remplacer avec des ressources locales de biomasse, les sources coûteuses d'énergies conventionnelles, telles que les combustibles fossiles et l'électricité. En effet, la biomasse est souvent disponible localement et gratuitement ou à peu de frais, sous la forme de résidus ou de sous-produits peu intéressants pour les industries (p. ex. les industries forestières ou agricoles). Grâce à l'utilisation de la biomasse, les rejets globaux de polluants et de gaz à effet de serre sont diminués, le consommateur est protégé des brusques et imprévisibles variations des coûts des combustibles fossiles, et des emplois sont créés localement pour la collecte, la préparation et la livraison des matières utilisées. Le système de distribution de chaleur en provenance de la chaufferie des systèmes à la biomasse facilite aussi la récupération des rejets thermiques de la production d'électricité sur site ou de procédés thermiques, dont les apports en chaleur peuvent alors être transférés à des groupes de bâtiments ou même, à des communautés selon le concept de réseau de chauffage urbain.

Les systèmes de chauffage à la biomasse ont généralement des coûts d'investissement plus élevés que ceux des systèmes conventionnels à combustibles fossiles. De plus, la qualité de la biomasse varie davantage que celle des combustibles fossiles, qui est relativement normalisée. La livraison, l'entreposage et la manipulation sont donc plus complexes et souvent de plus grands espaces physiques sont requis. Tous ces facteurs nécessitent une plus grande implication et une attention accrue de la part des opérateurs[3] de ces systèmes.

Par conséquent, les systèmes de chauffage à la biomasse sont plus avantageux lorsque les coûts des combustibles fossiles sont élevés et que les coûts d'approvisionnement en biomasse sont faibles. Ceci se produit lorsque : l'électricité ou toute autre forme coûteuse d'énergie, est utilisée pour le chauffage de l'espace et de l'eau ; et lorsque les résidus de biomasse sont disponibles sur le site ou à proximité, à un coût nul ou à un coût inférieur au coût d'élimination des résidus.

3. Les termes employés dans ce document pour désigner des personnes sont pris au sens générique: ils ont à la fois valeur d'un féminin et d'un masculin.

Étant donné la complexité et la taille des systèmes de chauffage automatisés, ils sont généralement réservés aux secteurs industriel, commercial, institutionnel et communautaire. Ils sont habituellement situés dans des zones rurales ou industrielles où les restrictions sur les émissions des types de polluants qu'ils émettent sont moins sévères, l'accessibilité pour les véhicules d'approvisionnement est facilitée, les équipements de manipulation de la biomasse, tels que des chargeuses, sont possiblement déjà en place et la main-d'œuvre qualifiée pour exploiter un système de chaudière industrielle peut-être plus facile à trouver.

Les systèmes de chauffage à la biomasse sont bien adaptés aux besoins des procédés industriels car plusieurs de ces systèmes nécessitent un apport continuel de chaleur. Or, les systèmes de chauffage à la biomasse sont plus efficaces et soulèvent moins de difficultés techniques lorsqu'ils produisent, au cours de l'année, une quantité relativement constante de chaleur à un niveau près de leur capacité nominale de production. Ceci maximise les économies en remplaçant de grandes quantités de combustibles fossiles coûteux, justifiant avantageusement des coûts d'investissement initiaux plus élevés et les coûts additionnels en main-d'œuvre pour le fonctionnement du système.

Cette section décrit les systèmes de chauffage à la biomasse et les marchés qui leurs sont accessibles, incluant notamment les réseaux de chauffage urbain, les bâtiments individuels, institutionnels et commerciaux et les applications relatives aux procédés industriels. Une présentation des considérations générales propres aux systèmes de chauffage à la biomasse termine cette section.

1.1 Description des systèmes de chauffage à la biomasse

Un système de chauffage à la biomasse est constitué d'une centrale de chauffage, d'un système de distribution de la chaleur et d'un système d'approvisionnement en biomasse. Ces trois éléments sont décrits en détail dans les prochaines sections.

1.1.1 Centrale de chauffage

Une centrale de chauffage à la biomasse comprend un certain nombre d'unités de chauffage. Ceci assure une capacité suffisante pour répondre aux besoins en chaleur (en mettant en service des unités additionnelles lorsque la demande augmente), réduit le risque associé à une interruption de l'approvisionnement en biomasse qui pourrait compromettre la production de chaleur (les autres unités peuvent compenser pour un manque de combustible de l'unité principale) et maximise l'utilisation de la biomasse au coût le plus bas (en utilisant la biomasse la moins onéreuse en premier et les plus coûteuses seulement au besoin). Tels que décrits par Arkay et Blais (1996), les quatre types d'unités de production de chaleur qui peuvent se trouver dans une centrale de chauffage à la biomasse, classés par ordre croissant de coûts par unité de chaleur produite, sont :

1) **Système de récupération de chaleur** : la chaleur la moins chère est généralement fournie par un système de récupération de chaleur[4]. Certaines centrales de chauffage à la biomasse peuvent être situées près d'équipements de production d'électricité (p. ex. un moteur à piston qui actionne une génératrice) ou d'un procédé thermique qui rejette de la chaleur. Cette chaleur, qui autrement serait perdue, peut souvent être récupérée par un système de récupération de chaleur à un coût minime ou nul.

2) **Système de combustion de la biomasse**[5] : un système de combustion de la biomasse produit de la chaleur par la combustion d'un biocombustible et est par définition, le cœur d'une centrale de chauffage à la biomasse. Si une biomasse peu coûteuse est utilisée et que le système de combustion fonctionne à une charge relativement constante, proche de sa capacité nominale de production, le coût unitaire de la chaleur produite est relativement faible. Le système de combustion de la biomasse répondra, jusqu'à sa capacité nominale de production, aux besoins en chaleur que le système de récupération de chaleur n'est pas en mesure de satisfaire.

3) **Système de chauffage de pointe** : en raison de ses caractéristiques opérationnelles et de ses coûts d'investissement élevés, un système de combustion de la biomasse peut être conçu de manière à fournir suffisamment de chaleur pour répondre aux besoins habituels, mais ne pas être suffisant pour répondre à la demande de pointe occasionnelle en chauffage. Le système de chauffage de pointe fournira la fraction de la demande annuelle de chauffage qui ne peut être satisfaite par le système de combustion de la biomasse. Souvent, le système de chauffage de pointe utilise des sources d'énergie conventionnelles et présente un coût d'investissement plus bas ainsi que des coûts en combustible plus élevés. Dans certains cas, le système de chauffage de pointe est utilisé durant les périodes où la demande en chaleur est très faible. Dans ces conditions, le système de combustion de la biomasse serait très inefficace ou générerait des niveaux inacceptables d'émissions (fumée).

4) **Système de chauffage de secours** : un système de chauffage de secours est utilisé lorsqu'un ou plusieurs systèmes de production de chaleur sont arrêtés, soit lors de leur entretien ou lors d'une interruption de leur approvisionnement en combustible. Le système de chauffage de secours a généralement les mêmes caractéristiques que le système de chauffage de pointe, c'est-à-dire des coûts d'investissement plus bas et des coûts en combustible plus élevés. Souvent, le système de chauffage de pointe est utilisé comme système de chauffage de secours pour le système de combustion de la biomasse et aucun système de secours supplémentaire n'est intégré à la centrale de chauffage.

---

4. Aussi appelé « système de récupération thermique ».
5. Afin de différencier spécifiquement cette unité de production de chaleur de l'ensemble nommé « centrale de chauffage à la biomasse », la terminologie « système de combustion de la biomasse » a été préférée à celle de « système de chauffage à la biomasse ».

Dans un système de combustion de la biomasse, principal élément d'une centrale de chauffage à la biomasse, le biocombustible est transféré à travers le système de combustion en passant par différentes étapes successives, dont plusieurs sont illustrées à la ***Figure 2*** et décrites ci-après :

- **Aire de déchargement du biocombustible** : si le combustible à base de biomasse n'est pas disponible sur le site même, il est livré dans une aire de déchargement dont l'espace doit être suffisant pour permettre aux véhicules de livraison de circuler sans difficulté.

- **Aire de stockage du biocombustible** : pour permettre une alimentation constante en biocombustible durant la période la plus longue entre deux livraisons consécutives, une certaine quantité de biomasse doit être entreposée dans une aire de stockage. La biomasse peut être empilée à l'extérieur sous un toit protecteur ou à l'intérieur d'un réservoir ou d'un silo. Bien que peu coûteux, le stockage à l'extérieur à le désavantage de permettre aux précipitations et aux saletés de contaminer la biomasse.

- **Alimentation en biocombustible** : le déplacement de la biomasse à partir de l'aire de stockage vers la chambre de combustion, peut se faire manuellement (p. ex. lors du chargement de billes de bois dans des fournaises extérieures), automatiquement (p. ex. via un collecteur à vis sans fin ou un convoyeur), ou par une combinaison d'interventions manuelles et automatisées.
  La performance des systèmes entièrement automatiques peut-être affectée par la variabilité de la biomasse et la présence de morceaux gelés, de forme irrégulière, ou contaminés (p. ex. avec des câbles ou des gants).

- **Transfert du biocombustible** : le déplacement de la biomasse jusqu'à l'intérieur de la chambre de combustion est appelé transfert du biocombustible. Dans les systèmes automatisés, ce transfert se fait à l'aide d'une vis sans fin ou d'un système similaire, et un appareil de jaugeage mesure le débit d'entrée du biocombustible dans la chambre de combustion.

- **Chambre de combustion** : la biomasse est injectée dans une chambre de combustion fermée où elle est brûlée dans des conditions contrôlées par un système qui détermine la quantité d'air admise en fonction de la demande en chaleur. Dans le cas de systèmes automatisés, le débit d'entrée du biocombustible dans la chambre de combustion est également contrôlé. L'utilisation de matériaux réfractaires à la chaleur permet de mieux conserver la chaleur à l'intérieur de la chambre de combustion. Pour faciliter une combustion plus complète, certaines chambres de combustion sont munies d'une grille supportant le biocombustible et qui permet à l'air, entrant par le dessous, de passer à travers le biocombustible. Dans les systèmes plus complexes, la grille bouge pour permettre une distribution plus uniforme de la surface de combustion, pour transporter le biocombustible dans les zones de combustion présentant divers niveaux de débits d'air, ainsi que

pour déplacer les cendres à l'extrémité de la chambre de combustion. Les gaz d'échappement chauds sortent de la chambre de combustion et passent dans une chambre de combustion secondaire munie d'un échangeur de chaleur ou, si la chambre de combustion est déjà muni d'un échangeur de chaleur, directement dans un système d'échappement des gaz.

- **Échangeur de chaleur :** la chaleur produite dans la chambre de combustion est transférée au système de distribution de la chaleur par l'entremise d'un échangeur de chaleur. Pour les fournaises installées à l'extérieur, une chemise d'eau isolée placée à l'extérieur de la chambre de combustion sert habituellement d'échangeur de chaleur. Les systèmes de combustion de la biomasse de capacité plus importantes utilisent des bouilloires avec comme fluide caloporteur, de l'eau, de la vapeur ou des huiles thermiques.

- **Enlèvement et stockage des cendres :** la chambre de combustion doit être vidée de ces cendres et des cendres volantes transportées par les gaz d'échappement. Selon le type de système, les cendres sont retirées manuellement ou automatiquement. Les cendres volantes peuvent se déposer dans la chambre de combustion secondaire ou dans l'échangeur de chaleur (qui requiert aussi un nettoyage), s'échapper avec les gaz d'échappement, ou bien être capturées par un système de collecte des particules (épurateur des gaz d'échappement).

- **Cheminée et système d'échappement :** les gaz de combustion sont rejetés dans l'atmosphère. Les petits systèmes utilisent les courants naturels générés par les gaz chauds; les grands systèmes utilisent des ventilateurs pour pousser de l'air à l'intérieur de la chambre de combustion afin d'expulser les gaz d'échappement. Des ventilateurs placés à la base de la cheminée peuvent aussi être utilisés pour aspirer les gaz d'échappement à l'extérieur de la chambre de combustion.

En plus des équipements décrits ci-dessus, des instruments et des systèmes de contrôle plus ou moins complexes permettent de superviser, en fonction de la demande, le fonctionnement du système de combustion de la biomasse, de faire varier l'injection d'air et, dans les systèmes automatisés, le débit d'entrées de la biomasse, tout en maintenant un milieu de travail sécuritaire.

Les systèmes de combustion de la biomasse sont disponibles dans une vaste gamme d'équipements qui varie en fonction des modalités d'injection du biocombustible et de l'air, de la conception des chambres de combustion et des grilles, du type d'échangeur de chaleur, et de la nature du système de traitement des gaz d'échappement et des cendres. À l'exception des très grandes centrales de chauffage, les systèmes de combustion de la biomasse peuvent être classés selon trois catégories générales, selon la capacité du système d'alimentation :

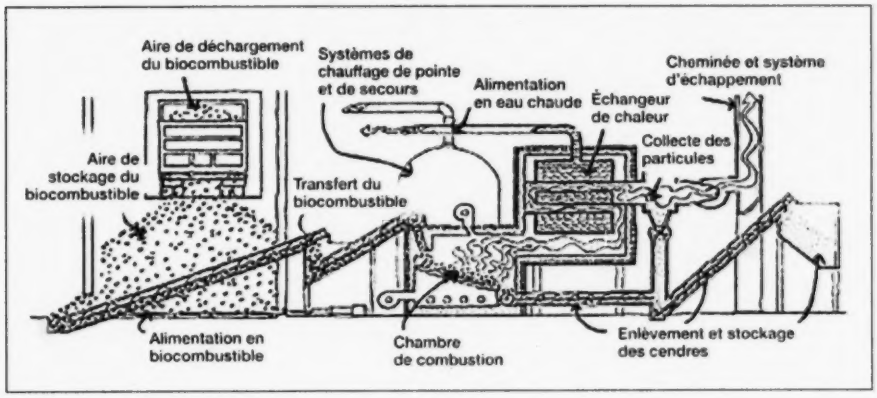


Figure 2 :

Système de chauffage à la biomasse – configuration générale.

[Adapté du document de RNCan : « Les petites installations de chauffage à la biomasse : Guide de l'acheteur », 2002].

- **Petits systèmes d'alimentation manuelle (50-280 kW)** :
  systèmes, généralement des fournaises extérieures, qui brûlent des bûches de bois et utilisent de l'eau chaude pour distribuer la chaleur.

- **Petits systèmes d'alimentation automatique (50-500 kW)** :
  systèmes qui utilisent du biocombustible en particules et qui possèdent généralement un système de combustion en deux phases (c.-à-d. avec une chambre de combustion secondaire) et une chaudière à eau chaude à tubes (c.-à-d. un tube qui transporte les gaz d'échappement chauds à travers l'eau qui doit être chauffée).

- **Systèmes intermédiaires d'alimentation (400 kW et plus)** :
  systèmes qui utilisent un système d'alimentation de particules de biomasse entièrement automatisé et qui possèdent généralement, un système de combustion à grille, fixe ou non, et une chaudière à tubes intégrés ou juxtaposés, pour chauffer de l'eau, de la vapeur ou des huiles thermiques.

En plus de ces catégories générales, il existe de nombreux systèmes de combustion de la biomasse qui sont conçus pour fonctionner avec des biocombustibles ayant des caractéristiques particulières ou qui répondent à des besoins particuliers en chauffage.

Le dimensionnement du système de combustion de la biomasse par rapport à la charge de pointe, est un élément central lors de la conception. L'objectif principal est de minimiser sur le cycle de vie, les coûts globaux pour fournir de la chaleur. Il existe deux approches générales pour le dimensionnement d'un système de combustion de la biomasse : la conception selon la charge de base et la conception selon la charge de pointe. Le choix de l'une ou l'autre de ces méthodes de conception dépend de la variabilité de la charge, des coûts

de la biomasse et des combustibles traditionnels, ainsi que de la disponibilité du capital et des autres facteurs spécifiques au projet. La conception selon la charge de pointe est la plus souvent utilisée pour les grandes installations sujettes, sur une base continue, à une forte demande en énergie. L'approche de conception selon la charge de base est la plus souvent utilisée pour les petites installations qui servent presqu'exclusivement au chauffage des espaces ou lorsque la charge est variable. Une comparaison des deux approches de conception est fournie dans le ***Tableau 1*** qui suit.

Méthodes de conception pour le dimensionnement d'un système de combustion de la biomasse	
CHARGE DE BASE	**CHARGE DE POINTE**
Description (principes de conception)	
Maximiser la rentabilité par un sous-dimensionnement du système de combustion de la biomasse afin de répondre à la majorité de la charge en chauffage (c.-à-d. à la charge de base). Réduit l'investissement initial et la dimension du système de chauffage de pointe qui fonctionne avec des combustibles fossiles.	Déterminer la charge maximale de chauffage (c.-à-d. la charge de pointe), et sur dimensionner le système de combustion de la biomasse avec un facteur de sécurité pour assurer que les charges extrêmes non prévues pourront être satisfaites.
Avantages	
▪ Permet au système de chauffage de fonctionner presqu'à pleine capacité la plupart du temps, ce qui assure un rendement saisonnier plus élevé; ▪ Permet de réduire les coûts d'investissement de manière significative; ▪ Permet un meilleur contrôle du système, ce qui résulte en un rendement énergétique maximal et des émissions moins élevées.	▪ Minimise l'utilisation de combustibles fossiles; ▪ Maximise l'utilisation de la biomasse; ▪ Permet une augmentation énergétique à coût marginal (si le coût de la biomasse est faible); ▪ Procure un surplus de capacité pour les besoins futurs.
Désavantages	
▪ Un système conventionnel est nécessaire pour répondre aux charges maximales occasionnelles (c.-à-d. aux charges de pointe); ▪ L'utilisation de combustibles fossiles sera augmentée; ▪ L'augmentation future de la demande affectera la charge de base; ▪ Une augmentation de la consommation énergétique doit être comblée par des combustibles conventionnels plus dispendieux.	▪ Un système plus grand augmente les coûts d'investissement (et les coûts en main-d'œuvre pour son fonctionnement); ▪ Les variations de la charge, typiques des systèmes de chauffage, font en sorte que le système de combustion de la biomasse doit fonctionner la plupart du temps pour une charge partielle. Ceci réduit le rendement du système et augmente ainsi l'utilisation de biocombustible; ▪ Lorsqu'un système de chauffage n'est pas utilisé à sa pleine capacité, il est susceptible de générer davantage d'émissions (fumée) et d'opérer en condition de combustion instable.

Tableau 1 : Méthodes de conception pour le dimensionnement d'un système de combustion de la biomasse

[Adapté du document de RNCan : « *Les petites installations de chauffage à la biomasse : Guide de l'acheteur* », 2002]

Dans les cas où il existe une forte variation saisonnière de la demande en chaleur, comme lorsque la demande en chauffage en hiver doit être additionnée aux besoins industriels satisfaits à l'année, deux systèmes de combustion de la biomasse peuvent être utilisés. Une petite unité peut être employée pour les besoins de la saison estivale, alors qu'une unité plus grosse est utilisée pour la période hivernale; les deux unités pouvant fonctionner simultanément lors des périodes de pointe. Cette configuration permet l'opération de chaque unité à un niveau proche de leur capacité nominale, augmentant ainsi le rendement et réduisant les émissions. De plus, cela permet de fournir de la chaleur même si un des systèmes est arrêté pour cause d'entretien.

1.1.2 Système de distribution de la chaleur

Le système de distribution de la chaleur transporte la chaleur de la centrale de chauffage vers les lieux où elle est requise. Ceci peut être à l'intérieur du même bâtiment, dans un bâtiment voisin ou dans un groupe de bâtiments situé à proximité de la centrale de chauffage, dans le cas d'un réseau de chauffage urbain. Dans la plupart des systèmes, un réseau de tuyaux isolés conduit de l'eau à une température allant jusqu'à 90 °C, à l'extérieur de la centrale de chauffage et retourne l'eau refroidie vers la centrale pour y être réchauffée. Dans certaines installations industrielles, la chaleur est distribuée par de la vapeur ou de l'huile thermique.

À l'intérieur d'un bâtiment, la chaleur est généralement distribuée par des radiateurs à eau chaude, des tuyaux d'eau chaude situés en dessous ou dans le plancher, ou par des conduits à air chaud. Entre les bâtiments, un réseau de tuyaux souterrains isolés transporte la chaleur. Les petits réseaux de distribution utilisent des bobines de tuyaux de plastique à faible coût. Dans les réseaux plus importants, un système de « tuyau dans un tuyau » est souvent utilisé. Le tuyau intérieur, généralement en acier, est entouré d'une épaisseur de mousse de polyuréthane, elle-même contenue dans un tuyau de polyéthylène. Les tuyaux sont généralement enfouis entre 60 et 80 cm sous la surface du sol, tel que montré dans la ***Figure 3***. Il n'est pas nécessaire d'enfouir les tuyaux sous le seuil du gel, puisque les tuyaux sont isolés et qu'il y circule de l'eau chaude.

Figure 3 :
Tuyaux d'un système de chauffage urbain

Crédit photo :
Saskheat

Dans un système de chauffage urbain, une centrale de chauffage à la biomasse procure de la chaleur à un certain nombre de consommateurs situés à proximité de la centrale. Ces consommateurs habitent généralement dans des groupes de bâtiments publics, commerciaux ou résidentiels situés à moins de quelques centaines de mètres l'un de l'autre. Un système de chauffage urbain qui fournit de la chaleur à plusieurs bâtiments est habituellement plus avantageux que plusieurs systèmes de chauffage individuels incorporés à chacun des bâtiments. En effet, une grande centrale possède un niveau de sophistication, de rendement et d'automatisation qu'il n'est pas possible d'atteindre avec de plus petites installations décentralisées. De plus, les consommateurs n'auront pas besoin de l'équipement ou de l'expertise nécessaire pour opérer avec succès leur système individuel, ce qui a souvent tendance à encourager l'utilisation de combustibles fossiles au détriment de biocombustibles. Finalement, en ayant un système de chauffage centralisé, les pertes de chaleur pourront être utilisées plus efficacement, l'installation sera plus sécuritaire, et la consommation de combustible, les besoins en main-d'œuvre et les émissions seront également réduits.

Le système de distribution de la chaleur peut souvent répondre à de nouveaux besoins si le réseau principal de tuyaux a une capacité suffisante. En effet, de nouveaux bâtiments à distance raisonnable peuvent être ajoutés au réseau, jusqu'à ce que la capacité du système soit atteinte. S'il y a suffisamment d'espace à l'intérieur de la centrale de chauffage, de nouveaux brûleurs peuvent aussi être installés pour accroître la capacité des installations.

Puisque les coûts d'investissement d'un réseau de chauffage urbain sont élevés, il est moins coûteux de l'intégrer dans un nouveau secteur en développement. Finalement, un réseau de chauffage urbain requiert des niveaux d'engagement et d'organisation plus élevés que pour de simples systèmes alimentés aux combustibles fossiles.

1.1.3 Approvisionnement en biomasse

L'approvisionnement en biomasse est constitué d'une chaîne d'activités qui est bouclée par la livraison du biocombustible à la centrale de chauffage à la biomasse. Puisque le bon fonctionnement de la centrale dépend de la livraison à intervalle régulier du biocombustible et puisque cette opération requiert la réalisation d'activités à l'échelle locale, plutôt que des décisions prises à distance dans une raffinerie, l'approvisionnement en biocombustible et considéré comme une « composante » à part entière de la centrale de chauffage.

Un approvisionnement fiable, peu coûteux et à long terme en biocombustible est essentiel au succès d'une centrale de chauffage à la biomasse. Les produits tirés des combustibles fossiles sont relativement normalisés, disponibles et faciles à transporter et à manipuler. À l'opposé, les biocombustibles sont très variables en termes de taux d'humidité, de quantité de cendres produites, de valeur calorifique, de consistance en vrac et de disponibilité géographique. Les systèmes de combustion à la biomasse, et surtout leurs sous-systèmes de transport des biocombustibles, peuvent être conçus pour fonctionner avec un seul type de biomasse d'une certaine qualité. Ils pourraient nécessiter des modifications ou être peu efficaces s'ils étaient utilisés avec un biocombustible différent. Par conséquent, l'implantation d'une centrale de chauffage doit nécessairement être précédée d'une évaluation approfondie de la quantité et de la qualité de la biomasse disponible, de la fiabilité des fournisseurs, des caractéristiques spécifiques liées à la manipulation de la biomasse

et si possible, des variations envisagée futures de la demande en biomasse. Si un nouvel usage de la biomasse considérée est découvert, cela pourrait faire augmenter son coût. Des contrats à long terme devraient donc être négociés, lorsque c'est possible.

Une grande variété de matériaux peu coûteux peuvent être utilisés comme biocombustible, tel que le bois et les résidus de bois, la sciure de bois, les copeaux de bois, les granules; ou des résidus agricoles tels que la paille, la paille hachée, les enveloppes de céréales, de la litière et du fumier; ou des espèces végétales à vocation énergétique et croissance rapide plantées exclusivement pour la combustion, telles que les saules, les mauvaises herbes et les peupliers hybrides; ou encore les résidus municipaux.
Les ***Figures 4*** et ***5*** montrent deux exemples de biomasses peu coûteuses aptes à être utilisées comme biocombustible. Peu importe le type de biomasse, celle-ci peut être considérée comme une ressource renouvelable seulement si elle est cultivée de manière durable.

Figure 4 :
Écales de noix pour la biocombustion

Crédit photo :
Warren Gretz/NREL Pix

Le prix du biocombustible dépend de sa source. Si c'est un résidu qui doit être éliminé, il peut avoir un coût négatif puisque les coûts d'élimination seront réduits. Des résidus tels que l'écorce en provenance d'une scierie, qui n'ont pas à être éliminés, mais qui n'ont aucune utilité, sont souvent disponibles gratuitement. Des sous-produits, tels que des retailles et de la sciure de bois, peuvent avoir une utilité alternative de faible valeur et seront généralement disponibles à faible coût. Les végétaux qui sont cultivés spécifiquement pour être utilisés comme biocombustible, auront des coûts généralement plus élevés. De même, les biocombustibles préparés (p. ex. des briquettes) seront caractérisés par des coûts supérieurs à ceux de plusieurs combustibles fossiles. Ces combustibles préparés peuvent cependant avoir des caractéristiques d'uniformité et de stabilité qui les rendent faciles d'utilisation dans les petits systèmes comprenant un système d'approvisionnement plus simple et requérant un minimum d'opération. Par exemple, les granules de bois préparés ont obtenu un succès considérable en Europe.

Figure 5 :
Bagasse pour la combustion

Crédit photo :
Warren Gretz/NREL Pix

Dans plusieurs pays où le chauffage à la biomasse est utilisé, les copeaux de bois et les autres sous-produits du bois représentent la plus grande source de biomasse. L'objectif de toute installation forestière devrait être de

maximiser l'utilisation de la récolte forestière et de mettre tout en œuvre pour favoriser la prochaine récolte d'arbres. Dans l'industrie forestière, les arbres récoltés devraient être triés de manière à favoriser la production de produits propres aux qualités de chaque arbre : des billes à partir du tronc d'épinettes ou de pins, du bois de chauffage ou des copeaux à partir des arbres de petit diamètre, morts, malades ou inutilisables. Une opération forestière communautaire peut intégrer la production de copeaux de bois dans sa gamme de produits. La ***Figure 6*** montre de la biomasse forestière récoltée dans le contexte d'une opération commerciale.

Figure 6 :
Récolte de la biomasse forestière

Crédit photo :
Bruce McCallum (1995)

La taille du bois qui peut être transformé en copeau est limitée par la taille de la déchiqueteuse choisie. Les arbres de grand diamètre nécessitent une déchiqueteuse plus grosse, munie d'un moteur puissant. À cause des coûts élevés de ces équipements, la plupart des installations forestières de petite taille utilisent de petites déchiqueteuses. Elles sont souvent actionnées par un tracteur de ferme et sont parfois disponibles à un coût raisonnable. Elles peuvent déchiqueter des arbres ayant jusqu'à 23 cm (10 pouces) de diamètre. Des déchiqueteuses industrielles d'occasion de plus grosse taille, sont aussi parfois disponibles.

La transformation en copeaux peut se faire sur le site même de la récolte. Dans les régions éloignées, accessibles uniquement lorsque des chemins d'hiver peuvent être utilisés, une quantité appréciable de matière peut être empilée près de la centrale de chauffage et être déchiquetée au fur et à mesure des besoins. S'il n'y a aucune activité forestière à proximité, une opération autonome d'approvisionnement en bois et en transformation en copeaux devra être mise en place.

Les copeaux de bois doivent être de bonne qualité, sans terre et sans copeaux de grande dimension. Ces copeaux de grande dimension qui peuvent survenir lorsque les couteaux de la déchiqueteuse sont émoussés, peuvent causer l'arrêt du système d'approvisionnement, de même que la présence de terre qui peut causer une usure prématurée et excessive des équipements.

1.2 Marchés des systèmes de chauffage à la biomasse

Les marchés des systèmes de chauffage à la biomasse peuvent être classés selon les applications envisagées. Les trois principaux marchés sont ceux des réseaux de chauffage urbain, des bâtiments institutionnels et commerciaux, et celui des procédés industriels.

1.2.1 Réseaux de chauffage urbain

Les réseaux de chauffage urbain sont composés d'une centrale de chauffage et d'un réseau de distribution urbain pouvant desservir des groupes de bâtiments ou même une communauté entière, comme le montre la ***Figure 7***. De tels réseaux permettent le chauffage de l'espace, de l'air de ventilation, de l'eau et la production de chaleur de procédés. Cette chaleur peut être fournie aux bâtiments individuels, tels que des bâtiments institutionnels (p. ex. des hôpitaux, des écoles et des complexes sportifs), commerciaux (p. ex. des bureaux, des entrepôts et des magasins), résidentiels (p. ex. des appartements) et des bâtiments industriels. Ces systèmes peuvent également fournir de la chaleur aux maisons individuelles, surtout si les maisons sont récentes et groupées.

Figure 7 :
Réseau de chauffage urbain situé dans la communauté Cri de Oujé-Bougamou dans le Nord du Québec, Canada.

Crédit photo :
NRCan

Les petits réseaux de chauffage urbain sont entièrement automatisés, très sophistiqués et constituent de véritables « petites centrales industrielles » de chauffage à la biomasse, généralement avec une capacité de 1 MW et plus. Elles possèdent de grands réservoirs de stockage, des systèmes de contrôle informatisés, des brûleurs avec système d'enlèvement des cendres automatisé, ainsi que des systèmes d'évacuation des fumées équipés de collecteurs de particules et de ventilateurs.

1.2.2 Bâtiments institutionnels et commerciaux individuels

Le chauffage de bâtiments individuels peut être réalisé à l'aide de systèmes de chauffage à la biomasse, comme le montre la ***Figure 8***. Puisque des économies importantes en combustible doivent être réalisées pour compenser les coûts importants d'investissement et de main-d'œuvre, il est peu probable qu'un bâtiment de la taille d'une maison individuelle utilise un système de chauffage tel que décrit à la section précédente. À la place, ces systèmes de chauffage à la biomasse sont plutôt installés dans des bâtiments institutionnels tels que les écoles, les hôpitaux et les bâtiments municipaux ou dans des bâtiments commerciaux comme les magasins, les garages, les manufactures, les ateliers et les hôtels, ainsi que dans des bâtiments agricoles, tels que les serres.

Les centrales de chauffage à la biomasse pour bâtiments individuels sont généralement du type « commercial de petite taille » ou « commercial ». Pour les centrales d'une capacité entre 75 et 250 kW, les systèmes sont généralement de petites tailles. Ces centrales simples et automatisées ont des coûts d'investissement plus bas que les systèmes sophistiqués de plus grande envergure. Les trémies de stockage du combustible sont généralement petites et les opérateurs doivent les remplir environ deux fois par jour, en plus de devoir retirer les cendres de la grille une fois par jour. Les systèmes de plus grande taille sont équipés d'un système automatisé de collecte des cendres. Des équipements électroniques contrôlent les débits d'entrée de l'air et du biocombustible.

Les systèmes commerciaux (aussi appelés de « taille intermédiaire »), de capacité située entre 200 et 400 kW, possèdent à la fois les caractéristiques des systèmes de petite taille et celles de dimension industrielle. Ils utilisent de grands réservoirs de stockage et ont des mécanismes d'approvisionnement en biocombustible plus élaborés que les systèmes de petite taille, mais ont des panneaux de contrôle plus simples et moins coûteux. Certains de ces systèmes ont des grilles fixes qui requièrent un enlèvement manuel des cendres. Généralement, ils n'ont pas de systèmes de collecte des particules ou de ventilateurs pour l'évacuation des gaz d'échappement. Ces systèmes sont répandus dans les pays tels que la Suède et le Danemark où ils sont utilisés dans les bâtiments institutionnels et par la petite industrie, notamment pour les séchoirs de scierie.

Le modèle RETScreen® International pour projets de chauffage à la biomasse

Le modèle RETScreen® International pour projets de chauffage à la biomasse peut être utilisé partout à travers le monde pour évaluer facilement la production énergétique, le coût du cycle de vie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) pour des projets de chauffage utilisant la biomasse ou la récupération de chaleur. Les applications de ces systèmes de chauffage peuvent inclure aussi bien des projets de grande envergure, comprenant plusieurs groupes de bâtiments, que des projets plus modestes pour des bâtiments individuels. Le modèle peut être utilisé pour évaluer trois configurations de systèmes utilisant comme source d'énergie : des rejets thermiques, de la biomasse ou une combinaison de biomasse et de rejets thermiques. Le modèle permet aussi d'inclure un « système de chauffage de pointe » (p. ex. une chaudière au mazout) et d'analyser une large gamme de systèmes avec ou sans réseau de chauffage urbain.

Il est à noter que le modèle RETScreen® pour projets de cogénération peut également être utilisé pour évaluer ce type de projet, mais aussi pour plusieurs autres types de projets.

Figure 8 :
Un bâtiment institutionnel chauffé à la biomasse.

Crédit photo :
ECOMatters Inc.

1.2.3 Chaleur pour procédés industriels

De petites centrales de chauffage à la biomasse sont également utilisées pour produire la chaleur nécessaire aux procédés industriels, surtout dans les secteurs industriels où des résidus de biomasses sont produits, tels que celui des scieries, des usines de sucre et d'alcool, des entreprises manufacturières et des installations agricoles de séchage. Les procédés industriels utilisent généralement d'importantes quantités de chaleur durant toute l'année, compensant ainsi les importants coûts d'investissement par des économies significatives en combustibles. La ***Figure 9*** montre un système industriel de chauffage à la biomasse. Ces applications en milieu industriel bénéficient de la présence sur site de travailleurs qualifiés, d'infrastructures de chargement et de stockage, et de biocombustible gratuit.

Figure 9 :
Une usine brésilienne qui utilise la bagasse, un sous produit du raffinage du sucre.

Crédit photo :
Ralph Overend/NREL Pix

1.3 Critères à considérer pour les projets de chauffage à la biomasse

Le choix d'un système de chauffage au gaz ou à l'huile est relativement simple. La qualité des combustibles fossiles est normalisée, ce qui simplifie la comparaison des soumissions provenant de divers fournisseurs. De plus, les systèmes sont simples et leurs conceptions sont similaires. Des soumissions différentes offrent souvent la même qualité de service pour la fourniture de chaleur et la même facilité d'opération, laissant le prix comme seul critère de décision.

D'un autre côté, les systèmes de chauffage à la biomasse sont plus complexes que les systèmes conventionnels et ils offrent un large éventail de possibilités en matière de conception, avec comme résultat, une gamme étendue de biocombustibles et d'exigences opérationnelles possible (voir ***Figure 10***). La comparaison des systèmes de chauffage à la biomasse avec les systèmes conventionnels demande une évaluation attentive des coûts et des économies sur l'ensemble du cycle de vie. Même la comparaison de propositions de la part de divers fournisseurs de systèmes de chauffage à la biomasse requiert une attention particulière.

Figure 10 :
Un système de manutention spécialisé pour la biomasse.

Crédit photo :
Ken Sheinkopf/Solstice CREST

Lors de telles comparaisons, les éléments particuliers suivants associés aux systèmes de chauffage à la biomasse, doivent être considérés :

Taille physique	Les systèmes de chauffage à la biomasse occupent plus d'espace que les systèmes de chauffage conventionnels. Ils requièrent un espace pour la livraison et le déchargement du biocombustible, de l'espace de stockage et une chaufferie plus grande pour accueillir les systèmes d'alimentation en biomasse et d'enlèvement des cendres.
Combustible	Contrairement au gaz et au pétrole, les caractéristiques des biocombustibles ne sont pas normalisées ou homogènes. De plus, ces biocombustibles ne sont pas distribués par de gros fournisseurs à l'échelle nationale. La qualité du biocombustible, sa constance et la fiabilité de l'approvisionnement sont des éléments de préoccupations. Aussi, la valeur énergétique varie de manière significative selon le type de biocombustible utilisé.
Opération	Les systèmes de chauffage à la biomasse requièrent un entretien plus fréquent et une attention plus soutenue de la part des travailleurs que les systèmes conventionnels. Par conséquent, une attention particulière des opérateurs est un élément critique.
Complexité	Les systèmes de chauffage à la biomasse sont plus complexes que les systèmes de chauffage conventionnels, surtout en ce qui concerne le stockage du biocombustible, sa manipulation et sa combustion. Cette complexité accrue, causée par les caractéristiques variables des biocombustibles, se traduit par des coûts d'investissement supplémentaires, plus difficiles à estimer.
Pollution locale	Les systèmes de chauffage à la biomasse génèrent des émissions qui peuvent affecter la qualité de l'air et être sujettes à réglementation. Ceci inclut les particules, aussi appelées suie, les polluants gazeux comme le monoxyde de carbone, les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, les hydrocarbures ainsi que de faibles niveaux de produits cancérigènes. Les émissions du système dépendent du type de combustible, mais aussi de la taille et de la nature du système de combustion. La réglementation locale peut être différente d'un lieu à l'autre selon le type de biocombustible et de système de combustion. De plus, les cendres doivent être éliminées dans le respect de la réglementation en vigueur.
Risques	Les systèmes de chauffage à la biomasse nécessitent des primes d'assurance additionnelles contre le feu et une attention particulière aux enjeux de sécurité.

Tous ces éléments doivent être comparés aux avantages associés aux systèmes de chauffage à la biomasse. En plus de la diminution des coûts sur le cycle de vie, les éléments suivants peuvent être importants :

Bénéfices économiques locaux	Le biocombustible est souvent cultivé, collecté et livré par des fournisseurs locaux, contrairement aux combustibles fossiles qui sont généralement importés de l'extérieur de la communauté. De plus, la préparation et la livraison de biocombustibles sont plus exigeantes en main-d'œuvre que celles des combustibles fossiles. Par conséquent, les dépenses consacrées aux biocombustibles ont un effet multiplicateur dans l'économie locale : l'argent demeure au sein de la communauté, au lieu de quitter la région, créant ainsi des emplois localement et améliorant les revenus publics.
Confort du chauffage	Le faible coût du biocombustible n'est pas un frein à l'augmentation de la température intérieure, comme avec les combustibles fossiles, améliorant le confort au sein des bâtiments.
Flexibilité	Les systèmes de chauffage à la biomasse sont très flexibles. Les systèmes pour combustibles solides peuvent être facilement adaptés afin d'accepter presque tous les types de combustible (solide, liquide, gazeux), augmentant ainsi les possibilités futures d'adaptation aux besoins de l'utilisateur.
Environnement	Les végétaux qui sont cultivés de manière durable sont considérés comme étant une source d'énergie renouvelable puisqu'ils seront disponibles indéfiniment. Puisque la culture de la biomasse permet de capturer une quantité de carbone équivalente à celle relâchée dans l'atmosphère lors de la combustion, il n'y a aucune augmentation nette des gaz à effet de serre (GES) qui causent les changements climatiques. La plupart des combustibles à base de biomasse ont une teneur en soufre négligeable et ne contribuent donc pas au phénomène des pluies acides.
Stabilité des prix	Le prix des biocombustibles a tendance à demeurer relativement stable et contrôlé au niveau local. Ce comportement du prix est à l'opposé du prix des combustibles fossiles qui varie grandement et de manière imprévisible, en réponse à la demande et à l'offre au niveau mondial.

2 MODÈLE RETSCREEN POUR PROJETS DE CHAUFFAGE À LA BIOMASSE

Le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse peut être utilisé pour évaluer la production d'énergie (ou les économies d'énergie), les coûts globaux sur le cycle de vie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre de projets de chauffage utilisant la biomasse ou la récupération de chaleur. Les applications de ces systèmes de chauffage peuvent comprendre aussi bien des projets de grande envergure, comprenant plusieurs groupes de bâtiments que des projets pour un seul bâtiment. Le modèle peut être utilisé pour évaluer trois configurations de systèmes utilisant comme source d'énergie : des rejets thermiques, de la biomasse ou une combinaison de biomasse et de rejets thermiques. Le modèle permet aussi d'inclure un « système de chauffage de pointe » (p. ex. une chaudière au mazout) et d'analyser une large gamme de systèmes avec ou sans réseau de chauffage urbain.

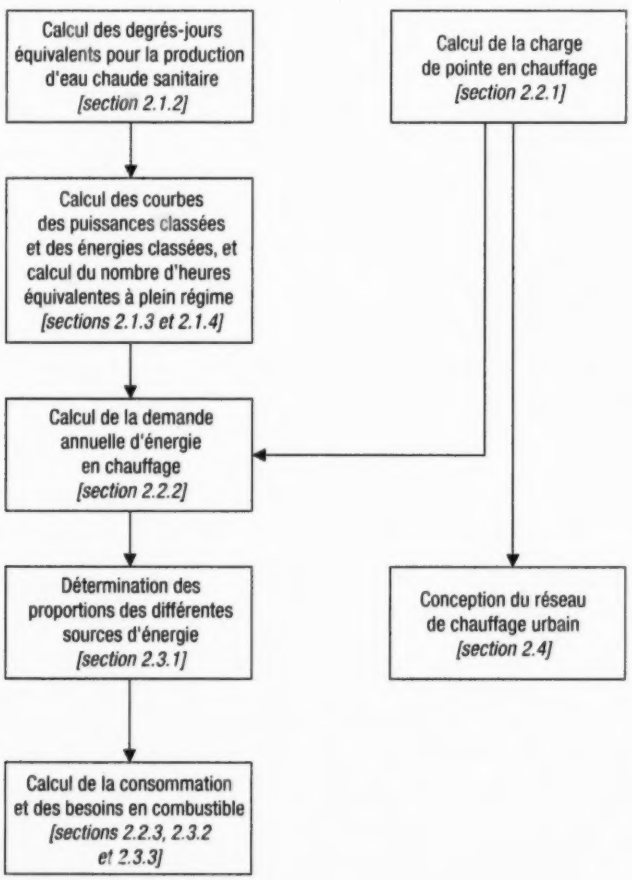
Le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse comporte six feuilles de calcul : *Modèle énergétique*, *Besoins en chauffage et conception du réseau de chauffage urbain* (*Besoins en chauffage et réseau*), *Analyse des coûts*, *Analyse des réductions d'émissions de gaz à effet de serre* (*Analyse des GES*), *Sommaire financier*, et *Analyse de sensibilité et de risque* (*Sensibilité*). La feuille de calcul *Besoins en chauffage et réseau* est utilisée en combinaison avec la feuille *Modèle énergétique* pour estimer la demande en chaleur et les coûts du système de distribution et des stations de transfert d'énergie pour le projet de chauffage et/ou de récupération de chaleur.

Les feuilles de calcul sont remplies dans l'ordre suivant : ***Modèle énergétique***, ***Besoins en chauffage et réseau***, ***Analyse des coûts*** et ***Sommaire financier***. Les feuilles de calcul ***Analyse des GES*** et ***Analyse de sensibilité*** sont facultatives. La feuille *Analyse des GES* est fournie pour aider l'utilisateur à évaluer l'atténuation potentielle des émissions de gaz à effet de serre (GES) engendrée par le projet proposé. La feuille de calcul *Sensibilité* est fournie pour aider l'utilisateur à évaluer la sensibilité de certains indicateurs financiers importants du projet. En général, les feuilles de calcul sont remplies du haut vers le bas et le processus peut être répété aussi souvent que nécessaire pour optimiser la conception du projet au niveau des coûts et de l'utilisation d'énergie.

Cette section décrit les divers algorithmes utilisés pour calculer sur une base mensuelle la production d'énergie avec le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse. La ***Figure 11*** illustre le schéma fonctionnel du modèle énergétique de RETScreen. Le calcul de la charge et les courbes de la demande des énergies classées sont présentés dans la *Section 2.1*. La section suivante permet de définir comment la puissance de pointe en chauffage et la demande énergétique totale du projet sont calculées (*Section 2.2*). L'évaluation de la combinaison des différentes sources d'énergie qui combleront les besoins de chauffage, ainsi que les consommations en combustible (biomasse ou autre) sont alors calculées par le modèle (*Section 2.3*). La *Section 2.4* s'intéresse à la conception des différentes composantes du réseau de chauffage urbain. Finalement, une validation du modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse est présentée dans la *Section 2.5*.

Le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse comprend deux sous modèles. Le premier calcule quelle portion des besoins de chaleur peut être comblée par les différents systèmes de chauffage (récupération de chaleur, combustion de la biomasse et système de chauffage de pointe). Il définit ensuite le taux d'utilisation de chaque système. Le deuxième sous modèle guide l'utilisateur dans le processus de conception d'un réseau de chauffage urbain (s'il y en a un); ce sous modèle est inclus de manière à ce que l'utilisateur puisse effectuer un dimensionnement préliminaire de la tuyauterie et une évaluation des coûts d'installation d'un tel réseau. Cependant, son utilisation n'a aucune influence sur l'évaluation de la production annuelle d'énergie, du moins pour un projet qui en est au stade de préfaisabilité.

Figure 11 :
Schéma fonctionnel du modèle énergétique pour le chauffage à la biomasse.



La principale limite de ce modèle est qu'il n'a pas été validé pour des systèmes de chauffage de grande envergure. Cependant, il peut être utilisé avec confiance pour des systèmes de chauffage à la biomasse de petite échelle appliquée au secteur commercial et industriel (avec des systèmes ayant une puissance de pointe inférieure à 2,5 MW et plusieurs systèmes de chauffage à la biomasse), aux bâtiments seuls ou aux réseaux de chauffage urbain de moins de 100 bâtiments.

Il est à noter que le modèle RETScreen pour projets de cogénération peut être utilisé pour évaluer les mêmes types de projet que le modèle pour projets de chauffage à la biomasse, mais également pour plusieurs autres types de projets, incluant les réseaux de chauffage urbain de grande envergure.

2.1 Caractéristiques du site

Le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse fait appel à la notion de *degrés-jours de chauffage* pour calculer les besoins en chauffage du ou des bâtiments. Cette section permet de présenter la notion de degrés-jours et montre également comment cette notion peut s'étendre afin d'inclure les besoins d'énergie pour la production d'eau chaude sanitaire. L'utilisation des degrés-jours pour obtenir la courbe des énergies classées et la demande de pointe en chauffage, est ensuite expliquée.

2.1.1 Température de calcul et degrés-jours

Les caractéristiques du site sont définies par l'utilisateur à l'aide de deux paramètres : la *température extérieure de calcul en chauffage* et les *degrés-jours mensuels de chauffage*. La température extérieure de calcul correspond à la température de la journée typiquement la plus froide de l'année pour l'endroit étudié. Cette donnée est souvent spécifiée dans les codes locaux de la construction. Par exemple, ASHRAE (1997) définit la température de calcul comme étant la température minimale mesurée qui a une fréquence au moins égale à 1 % au cours d'une année pour le lieu considéré. En Suède, elle est définie comme étant la température la plus froide qui est atteinte en moyenne une fois tous les 20 ans. La température de calcul est utilisée pour déterminer la *charge de pointe en chauffage* (voir *Section 2.2.1*) et pour dimensionner le système de chauffage en conséquence.

Par ailleurs, les degrés-jours de chauffage aident à évaluer la demande en énergie de chauffage[6]. Les degrés-jours de chauffage sont définis comme étant la différence entre une température de consigne (habituellement 18 °C) et la température moyenne extérieure. Mathématiquement, elle s'exprime de la manière suivante :

$$DD_i = \sum_{k=1}^{N_i} \left(T_c - T_{m,k} \right) \qquad (1)$$

où DD_i est la valeur des degrés-jours pour le mois i, N_i est le nombre de jours pour le mois i, T_c est la température de consigne et $T_{m,k}$ est la température moyenne quotidienne extérieure pour le jour k du mois i considéré. Les degrés-jours annuels DD sont calculés en effectuant la somme des degrés-jours mensuels :

6. Les concepts de *charge* et de *demande d'énergie* sont supposés être d'usage familier pour le lecteur ou la lectrice; la charge est une valeur instantanée (une puissance, exprimée par exemple en W) alors que la demande d'énergie réfère à une valeur intégrée dans le temps (l'énergie, exprimée par exemple en J ou en Wh).

$$DD = \sum_{i=1}^{12} DD_i \qquad (2)$$

L'avantage principal de l'utilisation de la notion de degré-jour est que, en première approximation, la demande en chauffage d'un bâtiment peut être supposée proportionnelle au nombre de degrés-jours de chauffage. Les degrés-jours peuvent aussi être utilisés pour quantifier la demande d'eau chaude sanitaire, comme il est décrit dans la *Section 2.1.2*.

2.1.2 Degrés-jours équivalents pour la production d'eau chaude sanitaire

Le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse permet à l'utilisateur d'inclure la production d'eau chaude sanitaire (ECS) dans la demande énergétique qu'un système de chauffage doit satisfaire[7]. La demande en eau chaude est supposée constante tout au long de l'année et elle est entrée par l'utilisateur comme une fraction d de la demande énergétique annuelle totale. Ainsi, si Q est la demande énergétique totale annuelle, Q_{CH} la portion de cette demande consacrée au chauffage des locaux, alors la portion de cette demande qui correspond à la production d'eau chaude sanitaire Q_{ECS} sera calculée de la manière suivante :

$$Q = Q_{CH} + Q_{ECS} \qquad (3)$$

$$Q_{ECS} = d\,Q \qquad (4)$$

$$Q_{CH} = (1-d)\,Q \qquad (5)$$

et ainsi :

$$Q_{ECS} = \frac{d}{(1-d)} Q_{CH} \qquad (6)$$

7. La demande d'énergie pour la production d'eau chaude est aussi un moyen d'utiliser le modèle pour simuler des charges thermiques indépendantes des conditions climatiques, par exemple pour des procédés industriels ou autres.

Puisque la quantité d'énergie à fournir pour le chauffage des locaux est considérée globalement proportionnelle au nombre de degrés-jours, le modèle définit un nombre *équivalent* de degrés-jours correspondant à la demande d'énergie pour la production d'eau chaude sanitaire. Si DD est le nombre de degrés-jours en chauffage (obtenu à partir de l'équation 2), le nombre de degrés-jours équivalents pour la production d'eau chaude sanitaire DD_{ECS} obéit à la même définition que l'équation (6) :

$$DD_{ECS} = \frac{d}{(1-d)} DD \qquad (7)$$

Les degrés-jours équivalents pour la production d'ECS sont souvent exprimés par leur valeur moyenne quotidienne en divisant l'équation (7) par le nombre de jours dans une année. Cela permet d'obtenir dd_{ECS} qui est exprimé en degrés-jours par jour (°C-d/d) :

$$dd_{ECS} = \frac{1}{365} \frac{d}{(1-d)} DD \qquad (8)$$

Il est à noter que le modèle prend en compte les besoins de chauffage pour la production d'eau chaude sanitaire d'une manière assez rudimentaire. Par exemple, le modèle considère que les besoins en eau chaude sont identiques tous les jours de l'année. À l'échelle d'un important réseau de chauffage urbain, cette hypothèse est raisonnable, mais peut l'être moins, par exemple, dans le cas d'une école où il n'y a aucune demande d'eau chaude pendant la nuit et les fins de semaine. Également, la demande d'eau chaude varie au cours de l'année, à la fois parce que la température de l'eau froide entrant dans le système diminue durant l'hiver et parce que la consommation d'eau chaude diminue durant les mois d'été.

2.1.3 Courbe des puissances classées et courbe des énergies classées

Maintenant que les critères de conception et le nombre de degrés-jours (incluant un nombre équivalent de degrés-jours pour tenir compte de la production d'eau chaude sanitaire) sont déterminés, la courbe des puissances classées peut être calculée. La courbe des puissances classées indique le nombre d'heures cumulées au cours d'une année pendant lesquelles le système doit fournir une puissance thermique supérieure ou égale à celle indiquée. La ***Figure 12*** présente un exemple de courbe des puissances classées. La charge d'un système de chauffage urbain comprend en général trois composantes : les pertes thermiques dans le réseau de distribution, la charge thermique pour la production d'eau chaude sanitaire et la charge de chauffage des locaux. Cette dernière composante est la charge principale au cours de l'année. Les pertes thermiques dans le réseau de distribution représentent les

pertes par les tuyaux enfouis et peuvent être considérées relativement constantes au cours de l'année (un petit peu plus élevées en hiver lorsque les températures d'alimentation et de retour sont supérieures et que la température du sol est plus basse). En comparaison avec la charge de chauffage des locaux, la charge de production d'eau chaude sanitaire est aussi relativement constante au cours de l'année, même si l'on doit reconnaître qu'elle diminue au cours de la nuit et pendant les mois d'été.

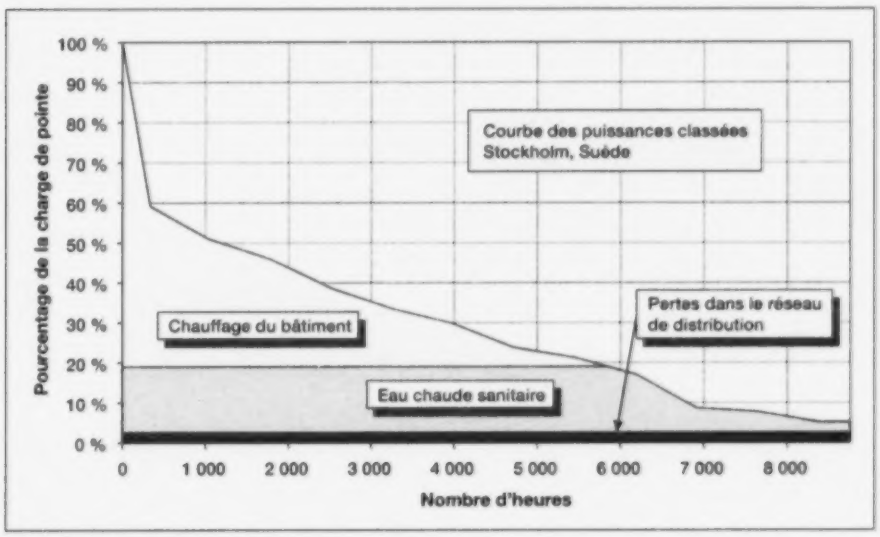


Figure 12 :

Exemple d'une courbe des puissances classées pour Stockholm, Suède

En principe, une courbe des puissances classées devrait être déterminée à partir des charges thermiques horaires afin d'intégrer l'ensemble des variations possibles des charges auxquelles un système doit faire face. Cependant, cette information est rarement disponible pour un système à l'étape de la conception ou de l'étude de préfaisabilité. Pour cette raison, une méthode a été développée pour déterminer une courbe des puissances classées à partir des degrés-jours mensuels. Les données utilisées pour développer cette méthode sont issues d'une étude très détaillée d'un système relativement important à Uppsala, en Suède. Cette méthode incorpore l'utilisation de facteurs mensuels empiriques, $F_{i'}$, qui prennent en compte l'influence des gains solaires, du vent et des habitudes des occupants, autant de paramètres qui peuvent avoir un impact sur la charge thermique d'un bâtiment. Ces facteurs empiriques sont présentés dans le ***Tableau 2*** pour $i' = 0, 1 \ldots 13$[8].

8. $i' = 0$ est le début des mois lorsqu'ils sont classés par ordre croissant de degrés-jours, $i' = 1$ est le mois avec le nombre le plus élevé de degrés-jours... $i' = 12$ est le mois avec le nombre le moins élevé de degrés-jours, et $i' = 13$ est la fin des mois classés.

i'	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
F_f	1,00	0,50	0,60	0,60	0,70	0,77	0,66	0,68	0,68	0,69	0,78	0,80	0,92	1,00

Tableau 2 : Coefficients empiriques F_f

L'algorithme pour déterminer les charges est illustré par un exemple où l'on détaille chaque étape du calcul (voir ci-dessous). L'exemple considéré est celui d'un système de chauffage situé à Stockholm, en Suède. La température de calcul en chauffage (T_{calc}) est de –19,4 °C et la demande en eau chaude sanitaire représente une fraction, d, de 19 % de la demande énergétique totale annuelle. Les degrés-jours (DD_i) de chauffage pour Stockholm sont donnés dans le ***Tableau 3***. En utilisant l'équation (2), on peut évaluer que la valeur des degrés-jours de chauffage annuels, DD, est de 4 238,6 °C; grâce à l'équation (8) on peut aussi calculer le nombre équivalent de degrés-jours par jour pour la demande de production d'eau chaude sanitaire, soit une valeur dd_{ECS} de 2,72 (°C-j)/j.

ÉTAPE 1 :

Calculer les degrés-jours par jour pour chaque mois dd_i afin d'éliminer l'influence du nombre différent de jours par mois, et inclure dans ce calcul les degrés-jours équivalents pour la production d'eau chaude sanitaire (calculés à partir de l'équation 8) :

$$dd_i = \frac{DD_i}{N_i} + dd_{ECS} \qquad (9)$$

où DD_i est le nombre de degrés-jours pour le mois i et N_i le nombre de jours dans le mois. Les valeurs calculées dans l'exemple de Stockholm sont reportées dans le ***Tableau 3***. Il est à noter que le mois de janvier est celui avec le nombre de degrés-jours le plus élevé, suivi du mois de décembre et de février. Cependant, à cause de l'influence de son nombre inférieur de jours (N_i) dans l'équation (9), le mois de février obtient la plus grande valeur de degrés-jours par jour (dd_i), plus que les mois de janvier et de décembre.

Mois	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juill.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DD_i	654,1	596,4	564,2	411,0	235,6	81,0	35,0	65,2	192,0	334,8	471,0	598,3
N_i	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
dd_i	23,8	24,0	20,9	16,4	10,3	5,4	3,8	4,8	9,1	13,5	18,4	22,0

Tableau 3 : Degrés-jours pour Stockholm, Suède

ÉTAPE 2 :

Trier par ordre croissant les degrés-jours par jour pour chacun des mois. Les valeurs ainsi triées sont notées $dd'_{i'}$, où $i' = 0, 1 \ldots 13$, tel que défini précédemment. Les valeurs de $dd_{i'}$ et $N_{i'}$ pour l'exemple de Stockholm sont données dans le ***Tableau 4***. À noter que dans cet exemple, les degrés-jours sont les plus élevés en janvier, suivi par les mois de décembre et février.

ÉTAPE 3 :

Déterminer le cœfficient $C_{i'}$ pour quatorze durées cumulatives $C_{0'}, C_{1'} \ldots C_{13'}$ définies de la manière suivante :

$$C_{0'} = 8760\ heures \tag{10-0}$$

$$C_{1'} = C_{0'} - N_{1'}\frac{24}{2} \tag{10-1}$$

$$C_{2'} = C_{1'} - (N_{1'} + N_{2'})\frac{24}{2} \tag{10-2}$$

$$C_{3'} = C_{2'} - (N_{2'} + N_{3'})\frac{24}{2} \tag{10-3}$$

...

$$C_{12'} = C_{11'} - (N_{11'} + N_{12'})\frac{24}{2} \tag{10-12}$$

$$C_{13'} = C_{12'} - N_{12'}\frac{24}{2} = 0 \tag{10-13}$$

où $C_{0'}$ correspond au nombre d'heures durant une année entière et $C_{1'}$ à $C_{12'}$ correspondent au nombre d'heures à compter du début de l'année jusqu'au milieu des mois triés en ordre croissant. Les valeurs de $C_{i'}$ calculées pour l'exemple de Stockholm sont présentées dans le ***Tableau 4***.

ÉTAPE 4 :

Calculer les pourcentages de la puissance de pointe $D_{i'}$ correspondant aux quatorze durées cumulatives $C_{i'}$:

$$D_{0'} = \frac{dd_{1'}}{\Delta T_{calc}} F_{1'} \qquad (11\text{-}0)$$

$$D_{1'} = \frac{dd_{1'}}{\Delta T_{calc}} F_{1'} \qquad (11\text{-}1)$$

$$D_{2'} = \frac{dd_{2'}}{\Delta T_{calc}} F_{2'} \qquad (11\text{-}2)$$

...

$$D_{12'} = \frac{dd_{12'}}{\Delta T_{calc}} F_{12'} \qquad (11\text{-}12)$$

$$D_{13'} = 100\,\% \qquad (11\text{-}13)$$

où $F_{0'}, F_{1'} \ldots F_{13'}$ sont les quatorze cœfficients mensuels empiriques, $F_{i'}$, mentionnés précédemment dans le ***Tableau 2***. ΔT_{calc} est la différence entre la température du point de consigne (T_{cons} = 18 °C) et la température de calcul en chauffage T_{calc} pour le lieu du projet (voir *section 2.1.1*) :

$$\Delta T_{calc} = T_{cons} - T_{calc} \qquad (12)$$

Les quatorze points $(C_{i'}, D_{i'})$ définissent la courbe des puissances classées exprimées comme un pourcentage de la puissance de pointe en chauffage. Les valeurs calculées des cœfficients $D_{i'}$ pour l'exemple de Stockholm sont présentées dans le ***Tableau 4*** et la courbe des puissances classées qui en résulte est montrée à la ***Figure 13***.

Les deux étapes suivantes permettent de calculer la courbe des énergies classées. Cette courbe représente, pour une année complète, la quantité d'énergie requise en fonction du niveau de puissance. Le calcul de la courbe est obtenu en réalisant une intégration de la courbe des puissances classées en fonction du temps (c.-à-d. en calculant l'aire en dessous de la courbe). Ensuite, ces valeurs sont normalisées pour faciliter l'expression de la demande des énergies classées en fonction de la demande annuelle.

ÉTAPE 5 :

Intégrer la courbe des puissances classées en fonction du temps, en calculant quatorze cœfficients $G_{i'}$ avec une simple règle trapézoïdale qui conduit à l'obtention de quatorze cœfficients $G_{0'}, G_{1'} \ldots G_{13'}$ qui représentent la demande relativement à la puissance maximale (comme il sera discuté dans la *Section 2.1.4*, le cœfficient $G_{13'}$ est intimement lié au nombre équivalent d'heures à plein régime) :

$$G_{0'} = C_{0'} D_{0'} \tag{13-0}$$

$$G_{1'} = G_{0'} \tag{13-1}$$

$$G_{2'} = \frac{(C_{1'} + C_{2'})}{2}(D_{2'} - D_{1'}) + G_{1'} \tag{13-2}$$

$$G_{3'} = \frac{(C_{2'} + C_{3'})}{2}(D_{3'} - D_{2'}) + G_{2'} \tag{13-3}$$

...

$$G_{12'} = \frac{(C_{11'} + C_{12'})}{2}(D_{12'} - D_{11'}) + G_{11'} \tag{13-12}$$

$$G_{13'} = \frac{C_{12'}}{2}(D_{13'} - D_{12'}) + G_{12'} \tag{13-13}$$

Les valeurs des cœfficients $G_{i'}$ pour l'exemple de Stockholm sont présentées dans le ***Tableau 4***.

ÉTAPE 6 :

Normaliser la valeur $G_{i'}$ en déterminant les quatorze cœfficients $H_{i'}$ définis comme suit :

$$H_{0'} = \frac{G_{0'}}{G_{13'}} \qquad (14\text{-}0)$$

$$H_{1'} = \frac{G_{1'}}{G_{13'}} \qquad (14\text{-}1)$$

...

$$H_{12'} = \frac{G_{12'}}{G_{13'}} \qquad (14\text{-}12)$$

$$H_{13'} = \frac{G_{13'}}{G_{13'}} = 100\,\% \qquad (14\text{-}13)$$

Les quatorze points $(H_{i'}, D_{i'})$, ainsi que l'origine $(0,0)$, définissent la courbe des énergies classées exprimée en pourcentage de la demande totale annuelle. Les valeurs calculées des cœfficients $H_{i'}$ pour l'exemple de Stockholm, sont présentées dans le ***Tableau 4*** et la courbe des énergies classées qui en résulte est présentée à la ***Figure 14***.

i'	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$dd_{i'}$ (°C-d/d)	--	3,8	4,8	5,4	9,1	10,3	13,5	16,4	18,4	20,9	22,0	23,8	24,0	--
$N_{i'}$ (jours)	--	31	31	30	30	31	31	30	30	31	31	31	28	--
$C_{i'}$ (heures)	8 760	8 388	7 644	6 912	6 192	5 460	4 716	3 984	3 264	2 532	1 788	1 044	336	0
$D_{i'}$ (%)	5,1 %	5,1 %	7,7 %	8,7 %	17,0 %	21,2 %	23,8 %	29,8 %	33,5 %	38,6 %	45,9 %	50,9 %	59,0 %	100,0 %
$G_{i'}$ (heures)	445	445	655	725	1 273	1 517	1 650	1 911	2 042	2 190	2 348	2 420	2 476	2 545
$H_{i'}$ (%)	17,5 %	17,5 %	25,7 %	28,5 %	50,0 %	59,6 %	64,8 %	75,1 %	80,3 %	86,1 %	92,3 %	95,1 %	97,3 %	100,0 %

Tableau 4 : Exemple de Stockholm pour le calcul des cœfficients, triés par ordre croissant des degrés jours par jour ($dd_{i'}$) intervenant dans l'établissement de la courbe des puissances classées.

La courbe des puissances classées et la courbe des énergies classées sont chacune exprimées en pourcentage de la puissance de pointe et de la demande annuelle d'énergie, respectivement. Les valeurs absolues de la puissance de pointe en chauffage et de la demande annuelle d'énergie n'ont pas encore été calculées. Ces valeurs seront introduites dans les *Sections 2.2.1* et *2.2.2*.

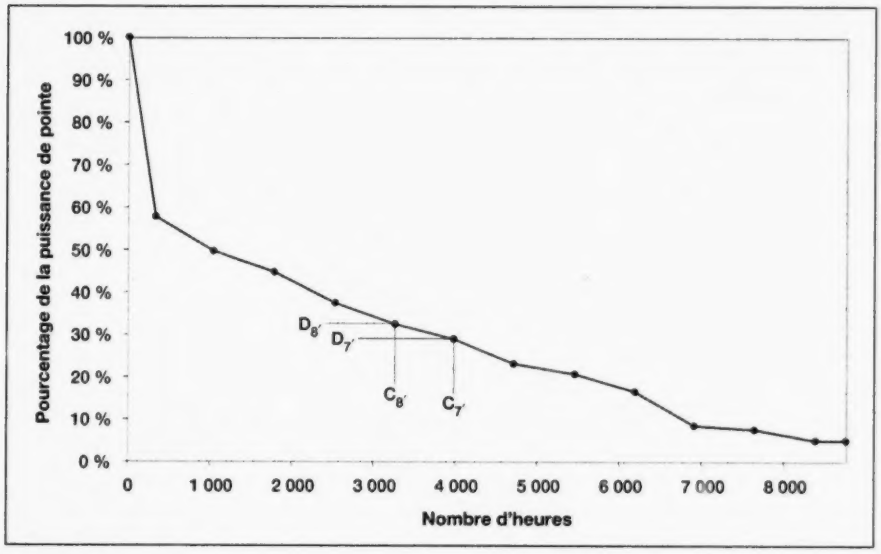


Figure 13 :

Exemple de la courbe des puissances classées pour Stockholm, Suède.

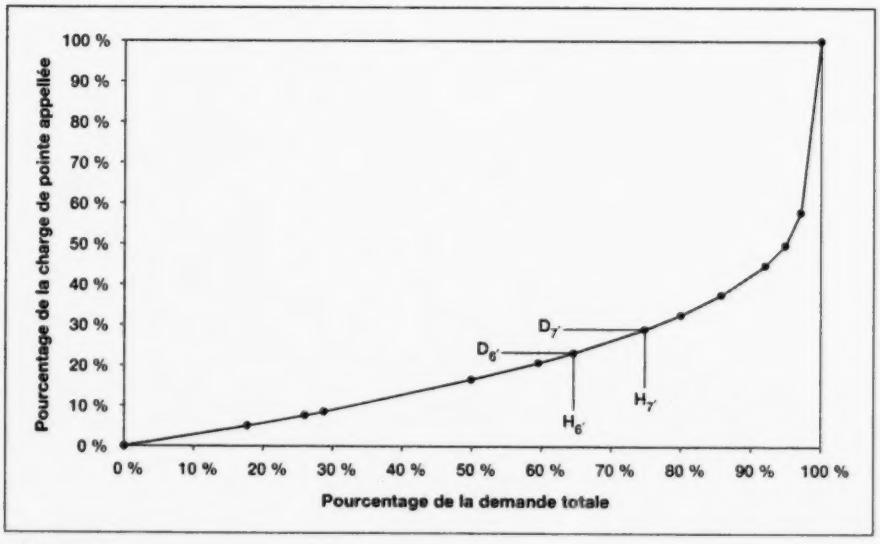


Figure 14 :

Exemple de la courbe des énergies classées pour Stockholm, Suède.

2.1.4 Nombre d'heures équivalentes à plein régime

Le nombre d'heures équivalentes à plein régime (E_{hpr}) peut être défini comme étant le nombre d'heures pendant lesquelles fonctionnerait à plein régime, un système qui aurait comme puissance exactement la puissance de pointe de l'application. Cette valeur est égale à l'aire en dessous de la courbe des énergies classées divisée par la valeur maximale de la courbe (100 %).

$$E_{hpr} = \frac{G_{13'}}{100} \qquad (15)$$

où $G_{13'}$ est donné par l'équation (13-13). Dans l'exemple de Stockholm de la *Section 2.1.3*, le nombre d'heures équivalentes à plein régime est égal à 2 545 heures.

2.2 Besoins en chauffage

Jusqu'à présent, les besoins en chauffage ont été exprimés en pourcentage de la puissance de pointe (grâce à la courbe des puissances classées) et la consommation d'énergie a été exprimée comme un pourcentage de la demande totale annuelle d'énergie (grâce à la courbe des énergies classées). La présente section va permettre de calculer la puissance de pointe en chauffage et la demande annuelle d'énergie, à partir des valeurs entrées par l'utilisateur dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse.

2.2.1 Charge de pointe en chauffage

Dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse, la charge de pointe en chauffage d'un bâtiment (ou d'un groupe de bâtiments avec des caractéristiques thermiques similaires) est une valeur $p_{H,j}$ exprimée en Watts par mètre carré de plancher chauffé. Cette valeur est introduite par l'utilisateur et dépend de la température de calcul en chauffage du lieu du projet (voir *Section 2.1.1*) et des caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, comme le montre la ***Figure 15*** (voir *Community Energy Technologies (CET), 1997*). La valeur typique de la charge de pointe en chauffage d'un bâtiment varie entre 42 et 118 W/m². La charge totale de pointe en chauffage P_j pour le j^e groupe de bâtiments est donc :

$$P_j = p_{H,j} A_j \qquad (16)$$

où A_j est la surface de plancher chauffé du j^e groupe de bâtiments. La puissance totale de pointe en chauffage P fournit par le système de chauffage est :

$$P = \sum_j P_j \qquad (17)$$

où la sommation est effectuée pour tous les groupes de bâtiments. Dans le modèle, l'utilisateur peut spécifier jusqu'à 14 groupes de bâtiments différents.

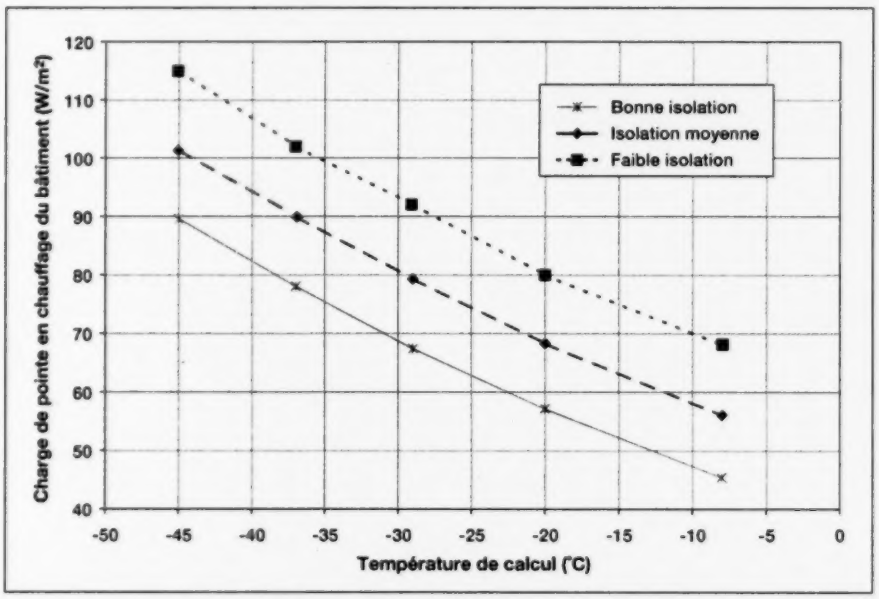


Figure 15 :

Diagramme de la charge de pointe en chauffage d'un bâtiment résidentiel (CET, 1997).

2.2.2 Demande annuelle d'énergie en chauffage

La demande annuelle d'énergie en chauffage Q est calculée par :

$$Q = P\, E_{hpr} \qquad (18)$$

où P est la puissance de pointe en chauffage (équation 17) et E_{hpr} le nombre équivalent d'heures à plein régime (équation 15).

2.2.3 Consommation de combustible (cas du système de référence)

Pour évaluer la viabilité économique d'un projet de chauffage à la biomasse, la quantité de combustible qui serait consommée si le système à la biomasse n'était pas installé doit être calculée. C'est ce qui est appelé la *consommation alternative de combustible* ou le cas de référence.

Les unités de mesure utilisées pour la consommation en combustible et la valeur calorifique dépendent du type de combustible utilisé. Le ***Tableau 5*** récapitule les unités et les valeurs calorifiques pour différents combustibles considérés dans le modèle RETScreen.

Combustible	Unité	Valeur calorifique
Gaz naturel	m^3	10,33 kWh/m^3
Propane	L	7,39 kWh/L
Mazout #2 (Diesel)	L	10,74 kWh/L
Mazout #6	L	11,25 kWh/L
Electricité	MWh	1 000 kWh/MWh
Autre	MWh	1 000 kWh/MWh

Tableau 5 : Unités et valeurs calorifiques pour différents combustibles.

La consommation en combustible du système de chauffage de référence est calculée par :

$$M_{CCR} = \frac{Q}{\eta_{sc,rs}\, C_{com}} \qquad (19)$$

où M_{CCR} est la consommation en combustible du système de chauffage de référence[9], $\eta_{sc,rs}$ est le rendement saisonnier du système de chauffage (exprimé sans unité) entré par l'utilisateur, C_{com} est la valeur calorifique du type de combustible sélectionné[10] et Q est la demande en énergie de chauffage pour le bâtiment ou le groupe de bâtiments (exprimée en kWh).

9. Exprimé en m^3, L ou MWh (voir ***Tableau 5***).
10. Exprimé en kWh/unité (voir ***Tableau 5***).

2.3 Énergie fournie et consommation en combustible

2.3.1 Détermination des proportions des différentes sources d'énergie

Les courbes des puissances et des énergies classées (***Figure 13*** et ***Figure 14***) sont utilisées pour déterminer la portion de la demande d'énergie fournie par le système de récupération de chaleur, par le système de combustion de la biomasse et par le système de chauffage de pointe. Généralement, le système de récupération de chaleur fournit de la chaleur gratuite, ou à faible coût, récupérée d'un procédé ou d'un système de génération d'électricité; ce système est utilisé en priorité. Ensuite, le système de combustion de la biomasse répond à la majeure partie des besoins annuels en chauffage. Enfin, le système de chauffage de pointe, utilisé seulement pour un très petit nombre d'heures, ne représente qu'une très faible proportion de la demande annuelle d'énergie. La fraction de la demande totale en énergie qui est fournie par chacun de ces systèmes dépend de la fraction de la puissance de pointe qu'ils satisfont, comme il sera illustré avec l'exemple de Stockholm, discuté précédemment.

Supposons qu'un système conçu pour répondre aux besoins d'énergie présentés à la ***Figure 14*** soit constitué d'un système de récupération de chaleur dont la puissance représente 10 % de la charge de pointe de l'application. Considérons aussi que le système de combustion de la biomasse, qui prend le relais du système de récupération de chaleur lorsque sa capacité n'est plus suffisante pour répondre aux besoins, représente 40 % de la charge de pointe en chauffage. Enfin, le système de chauffage de pointe, d'une capacité égale à 50 % de la puissance de pointe, complétera le système de chauffage. Dans ces conditions, comme le montre la ***Figure 16***, le système de récupération de chaleur répond à 31 % des besoins énergétiques annuels en chauffage tandis que le système de combustion de la biomasse en produit 64 % (95 % - 31 %). Le système de chauffage de pointe fournit le reste, soit 5 % des besoins énergétiques annuels en chauffage.

Cette façon de faire requiert que la capacité du système de récupération de chaleur et la capacité du système de combustion de la biomasse soient exprimées en pourcentage de la charge (puissance) de pointe en chauffage. Elle requiert aussi de calculer l'énergie fournie comme une fraction de la demande totale. Convertir les puissances des systèmes envisagés en pourcentages de la charge de pointe, et les pourcentages de la demande énergétique annuelle en énergie fournie par les systèmes, est relativement simple.

Dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse, l'utilisateur entre la capacité du système de récupération de chaleur P_{RC} et la capacité du système de combustion de la biomasse P_{bio}, en kW. Les pourcentages de la puissance de pointe utilisable rapportés sur la ***Figure 16***, $p_{RC,\%}$ et $p_{bio,\%}$, sont calculés simplement par :

$$p_{RC,\%} = \frac{P_{RC}}{P} 100 \qquad (20)$$

$$p_{bio,\%} = \frac{P_{bio}}{P} 100 \qquad (21)$$

où P est la puissance de pointe calculée par l'équation (17). De la même manière, si $q_{RC,\%}$, $q_{bio,\%}$, et $q_{SCA,\%}$ sont les pourcentages de la demande annuelle d'énergie assurée respectivement par le système de récupération de chaleur, le système de combustion de la biomasse et le système de chauffage de pointe, tel qu'indiqué sur la ***Figure 16***, alors les quantités d'énergie de chauffage fournies par le système de récupération de chaleur Q_{RC}, par le système de combustion de la biomasse Q_{bio} et par le système de chauffage de pointe Q_{SCA} sont données par :

$$Q_{RC} = \frac{q_{RC,\%}}{100} Q \tag{22}$$

$$Q_{bio} = \frac{q_{bio,\%}}{100} Q \tag{23}$$

$$Q_{SCA} = \frac{q_{SCA,\%}}{100} Q \tag{24}$$

où Q est la demande totale d'énergie calculée grâce à l'équation (18).

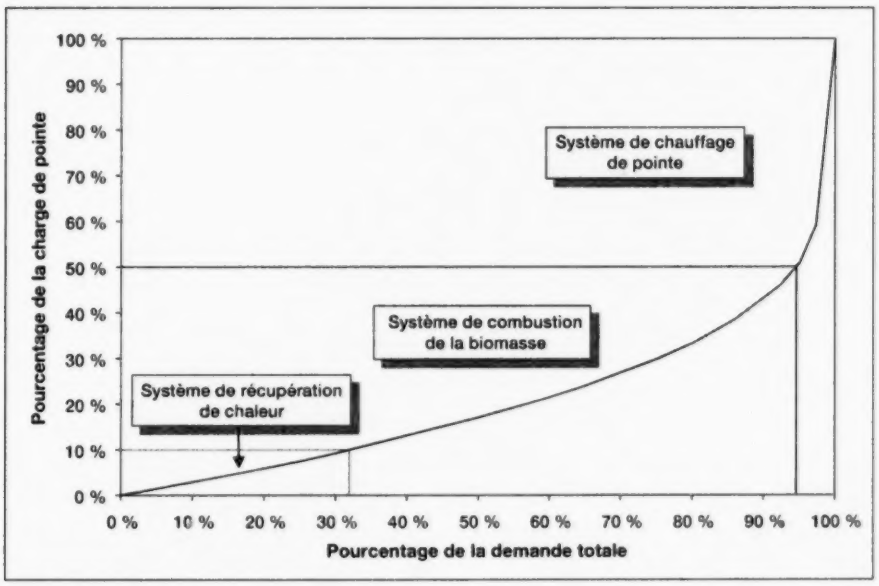


Figure 16 :

Pourcentage de la charge totale en énergie fournie par les différents systèmes de chauffage (exemple de Stockholm, Suède)

2.3.2 Besoins en combustible pour le système de chauffage de pointe

Les besoins en combustible pour le système de chauffage de pointe sont déterminés par une méthode similaire à celle présentée à la *Section* 2.2.3, à la différence près que la demande d'énergie à prendre en considération est uniquement celle qui est fournie par le système de chauffage de pointe Q_{SCA}, pour répondre à la puissance de pointe, calculée dans l'équation (24).

2.3.3 Besoins annuels en biocombustible

La production d'énergie à partir de biomasses est obtenue par combustion directe ou indirecte grâce à une conversion thermomécanique. La combustion directe consiste à brûler du biocombustible solide. Les méthodes indirectes convertissent le biocombustible en liquide ou en gaz. Le liquide ou le gaz dérivé du biocombustible est alors brûlé pour produire de la chaleur et des sous-produits de combustion. Le modèle RETScreen ne modélise que les systèmes de chauffage à combustion directe.

La quantité de biomasse brûlée au cours d'une année M_{bio}, exprimée en kg, est calculée à partir d'une formule très similaire à celle de l'équation (19) :

$$M_{bio} = \frac{Q_{bio}}{PCN\ \eta_{bio,rs}} \qquad (25)$$

où Q_{bio} est la demande énergétique assurée par le système de combustion de la biomasse (calculée grâce à l'équation 23), $\eta_{bio,rs}$ est le rendement saisonnier du système de combustion de la biomasse, spécifié par l'utilisateur, et PCN est le pouvoir calorifique de combustion de la biomasse.

Le pouvoir calorifique d'un carburant représente la quantité de chaleur qu'il dégage par unité de poids lors de sa combustion complète. Le *pouvoir calorifique supérieur (PCS)* est la quantité maximale de chaleur qui peut être dégagée en le brûlant, mesuré par unité de poids de combustible *sec*. Le *pouvoir calorifique net* d'un carburant (aussi appelé *pouvoir calorifique de combustion*) soustrait la quantité d'énergie de la vapeur d'eau produite à partir de l'eau contenue dans le combustible, et celle de la vapeur d'eau produite par la combustion de l'hydrogène contenu dans le combustible. Le pouvoir calorifique net est exprimé par unité de poids de combustible humide.

Un taux élevé d'humidité dans le biocombustible réduit le rendement du système, car la conversion de l'eau en vapeur demande de la chaleur. Puisqu'il est rare que les gaz de combustion soient condensés dans les petits systèmes de chauffage à la biomasse, l'énergie qui serait normalement utilisée pour le chauffage se trouve ainsi détournée vers le séchage de la biomasse avant sa combustion. Un taux d'humidité plus élevé dans le carburant diminue le *pouvoir calorifique net*. Généralement, les valeurs du pouvoir calorifique de combustion de la biomasse varient de 10 800 à 15 900 MJ/tonne.

Le pouvoir calorifique de la biomasse dépend aussi de la nature de celle-ci. Dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse, l'utilisateur sélectionne le type de biomasse et indique sa teneur en eau. La *teneur en eau* de la biomasse est évaluée en divisant la masse d'eau d'un échantillon de biomasse par la masse totale de celui-ci :

$$T_{H_2O/mt} = \frac{M_{eau}}{M_{eau} + M_{bio\ sec}} 100 \qquad (26)$$

où $T_{H_2O/mt}$ est la teneur en eau de la biomasse humide, exprimée en %, M_{eau} est la masse de l'eau et $M_{bio\ sec}$ est la masse de la biomasse sèche. Dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse, $T_{H_2O/mt}$ est une donnée d'entrée fournie par l'utilisateur.

L'*analyse élémentaire* d'un carburant permet de décomposer celui-ci en éléments chimiques fondamentaux, la masse de ceux-ci étant exprimée en pourcentage de la masse de l'échantillon sec. Généralement, une analyse élémentaire recherche les éléments suivants : hydrogène, carbone, oxygène, azote, soufre (la plupart du temps, la quantité de soufre dans la biomasse est négligeable) et les cendres. Le ***Tableau 6*** montre l'analyse de différents types de biomasse utilisés dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse.

Des formules analytiques ont été mises au point pour prédire le pouvoir calorifique supérieur du charbon et autres combustibles fossiles. Des calculs exacts sont disponibles pour chacun des composés de la biomasse qui sont susceptibles d'être oxydés. Cependant, il est très difficile d'évaluer la contribution des composés volatils au pouvoir calorifique total. Dans la pratique, la formule suivante est considérée comme une bonne approximation pour la biomasse et a été utilisée dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse :

$$PCS = 34{,}1C + 123{,}9H - 9{,}85O + 6{,}3N + 19{,}1S \qquad (27)$$

où PCS est le pouvoir calorifique supérieur (MJ/kg) et C, H, O, N et S sont respectivement les pourcentages massiques du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote et du soufre. Les valeurs correspondantes pour le pouvoir calorifique net (combustible brûlé tel quel) PCN en MJ/kg, sont données par :

$$PCN = (PCS - 21{,}92H)\left(1 - T_{H_2O/mt}/100\right) - 0{,}02452\,T_{H_2O/mt} \qquad (28)$$

où $T_{H_2O/mt}$ est la teneur en eau de la biomasse humide entrée par l'utilisateur et exprimée en %. Le résultat de l'équation (28) est utilisé dans l'équation (25) pour calculer les besoins annuels en biomasse pour alimenter le système de chauffage.

Type	Carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote	Soufre	Cendres
Bagasse	48,64 %	5,87 %	42,85 %	0,16 %	0,04 %	2,44 %
Tourbe	51,20 %	5,70 %	33,20 %	1,40 %	0,30 %	8,20 %
Écorce de riz	38,83 %	4,75 %	35,59 %	0,52 %	0,05 %	20,26 %
Mauvaise herbe	47,45 %	5,75 %	42,37 %	0,74 %	0,08 %	3,61 %
Paille de blé	46,96 %	5,69 %	42,41 %	0,43 %	0,19 %	4,32 %
Bois – rendement élevé	52,10 %	5,70 %	38,90 %	0,20 %	0,00 %	3,10 %
Bois – rendement bas	52,00 %	4,00 %	41,70 %	0,30 %	0,00 %	2,00 %
Bois – rendement moyen	48,85 %	6,04 %	42,64 %	0,71 %	0,06 %	1,70 %

Tableau 6 : Tableau des différents types de biocombustible

2.4 Conception du réseau de chauffage urbain

La conception du réseau de chauffage urbain fait partie intégrante du modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse afin que l'utilisateur puisse effectuer un dimensionnement préliminaire de la tuyauterie et évaluer les coûts d'une telle installation. Les résultats n'ont aucune influence sur les calculs énergétiques du modèle.

Un système de chauffage urbain comprend un réseau souterrain de tuyauterie d'eau chaude avec un tuyau d'alimentation et un tuyau de retour en circuit fermé. Chaque bâtiment est connecté au réseau par l'intermédiaire d'une station de transfert thermique qui mesure et régularise l'énergie prélevée sur le système de distribution de chaleur. Le réseau comprend une *boucle principale de distribution* qui relie plusieurs bâtiments entre eux, ou des groupes de bâtiments, à une centrale thermique et des *boucles secondaires de distribution* qui relient individuellement chacun des bâtiments à la boucle principale. Le réseau de tuyauterie est généralement surdimensionné pour permettre un raccordement éventuel d'autres bâtiments. Dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse, le facteur de surdimensionnement est spécifié par l'utilisateur.

Le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse utilise une méthode simplifiée pour calculer, de manière préliminaire, les caractéristiques du réseau de tuyauterie du système de chauffage. La perte de charge est supposée inférieure à 20 mm d'H_2O ou 200 Pa par mètre de tuyau et une vitesse maximale de 3 m/s est employée pour des tuyaux de diamètre supérieur à 400 mm. Des formules standards (Avallone, 1987) ont aussi été utilisées pour les pertes de charge dans un tuyau en fonction de la vitesse d'écoulement et du diamètre des tuyaux (***Tableau 7***) afin de calculer le débit maximal admissible pour limiter les pertes de charge.

Taille du tuyau	Débit maximal (m^3/h)
DN32	1,8
DN40	2,7
DN50	5,8
DN65	12,0
DN80	21,0
DN100	36,0
DN125	65,0
DN150	110,0

Tableau 7 : Débits maximums pouvant traverser différents diamètres de tuyaux pour limiter les pertes de charge maximales à 200 Pa/m

La puissance thermique totale transportée par la tuyauterie de la boucle principale du système de distribution peut être calculée par :

$$P_{tuy} = \rho V C_p \Delta T_{a-r} \tag{29}$$

où ρ est la masse volumique de l'eau, V est le débit volumique, C_p sa capacité calorifique (déterminée pour une température de 78 °C, à 4 195 kJ/(kg °C)) et ΔT_{a-r} est la différence de température entre l'alimentation et le retour, spécifiée par l'utilisateur. Cette relation peut être utilisée pour trouver, en fonction de la puissance de pointe en chauffage du groupe de bâtiments (quantité P_f de l'équation 17), le débit volumique d'eau que le tuyau devra permettre :

$$V = \frac{\rho C_p \Delta T_{a-r}}{P_f} \tag{30}$$

En réalité, la formule utilisée dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse comprend un facteur de surdimensionnement de la tuyauterie; si κ est le facteur de surdimensionnement de la tuyauterie principale entré par l'utilisateur et exprimé en %, l'équation (30) devient :

$$V = \frac{\rho\, C_p \Delta T_{a-r}}{(1+\kappa/100)\, P_j} \qquad (31)$$

Le ***Tableau 7*** donne le diamètre requis de la tuyauterie en fonction du débit. Dans le cas où plusieurs groupes de bâtiments sont alimentés par la même boucle de distribution principale, la demande en chauffage de pointe dans l'équation (31) devra être remplacée par la somme des puissances en chauffage de pointe des différents groupes de bâtiments.

Enfin, une équation similaire est utilisée pour les tuyaux des boucles secondaires de distribution. Le dénominateur dans l'équation (31) est alors remplacé par la charge de pointe P_j' donnée par :

$$P_j' = \frac{P_j\,(1+\kappa'/100)}{N_j} \qquad (32)$$

où κ' est le facteur de surdimensionnement de la tuyauterie des boucles secondaires de distribution, spécifié par l'utilisateur et N_j, le nombre de bâtiments dans chacun des groupes.

2.5 Validation

De nombreux experts ont contribué au développement, test et validation du modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse. Ceux-ci incluent des experts en modélisation du chauffage à la biomasse, des ingénieurs experts en coûts, des spécialistes en modélisation des émissions de gaz à effet de serre, des professionnels en analyse financière et des scientifiques spécialisés dans les bases de données météorologiques de données-satellites et de stations de surveillance au sol.

La validation du modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse a été faite par comparaison avec d'autres modèles couramment utilisés dans l'industrie. La procédure de validation a mis l'emphase sur trois sujets principaux : le calcul de la courbe des puissances classées (*Section 2.5.1*), le calcul de la valeur calorifique de la biomasse (*Section 2.5.2*) et la conception de la tuyauterie du réseau de chauffage urbain (*Section 2.5.3*).

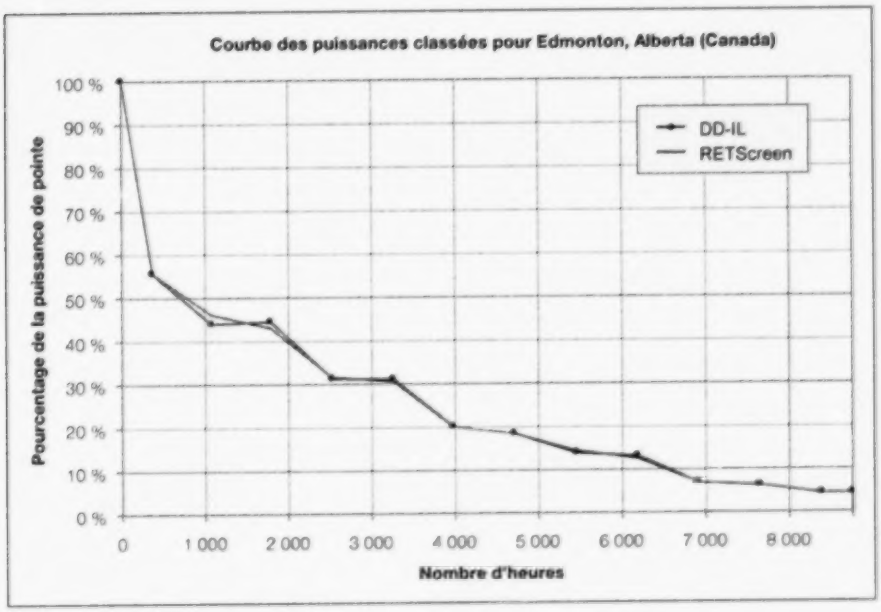
2.5.1 Validation de la courbe des puissances classées

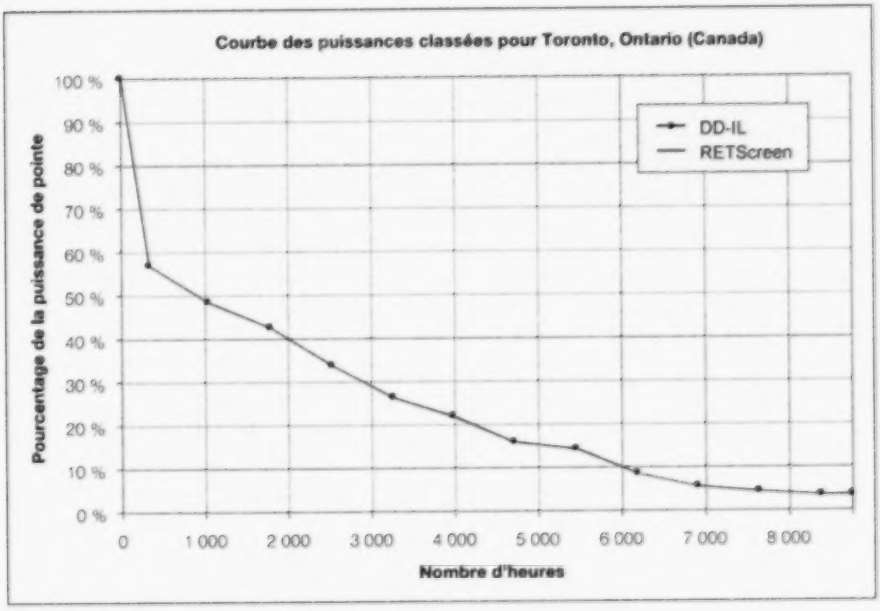
Pour valider la courbe des puissances classées générée par RETScreen (voir *Sections 2.1.3* et *2.1.4*), les résultats de RETScreen ont été comparés avec ceux d'un modèle développé par M. Ingvar Larsson de la compagnie FVB District Energy Consultants en Suède. Le modèle de M. Larsson, appelé ci-après « DD-IL », a été développé à partir de données de deux systèmes de chauffage urbain de taille importante et sur lesquels de nombreuses mesures ont été effectuées (St. Paul, Minnesota (É.-U.) et Uppsala (Suède)). Le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse a été comparé à DD-IL avec des données provenant de quatre villes : Edmonton, Alberta (Canada), Toronto, Ontario (Canada), St. Paul, Minnesota (É.-U.), et Stockholm (Suède). Pour toutes ces villes, les données de degrés-jours de DD-IL ont été utilisées dans RETScreen (à la place des degrés-jours issus de la base de données en ligne intégrée à RETScreen) afin d'éviter de comparer les résultats de deux programmes avec des données météorologiques différentes. La seule exception est celle d'Edmonton où ce sont les valeurs de la base de données en ligne de RETScreen qui ont été utilisées dans DD-IL. Les courbes des puissances classées ont été reproduites pour chaque ville en utilisant des degrés-jours pour la production d'eau chaude sanitaire équivalents à 2,74 °C-j/j (1 000 degrés-jours/an), sauf pour Uppsala où on a utilisé une valeur de 2,88 °C-j/j (1 050 degrés-jours/an).

Le ***Tableau 8*** compare les durées équivalentes de fonctionnement à plein régime calculées par chacun des deux programmes pour les quatre localités. Les résultats sont très semblables (différences inférieures à 1 %). La ***Figure 17*** présente les courbes des puissances classées calculées par les deux programmes. De nouveau, les différences sont minimes et peuvent être considérées comme négligeables. Pour Toronto et Uppsala, les deux programmes génèrent exactement la même courbe des puissances classées. Pour Edmonton et Saint-Paul, les courbes sont sensiblement identiques.

Lieu	DD-IL Nombre d'heures équivalentes à plein régime (h)	RETScreen Nombre d'heures équivalentes à plein régime (h)	Différence
A. Edmonton, Alberta, Canada (données météo de RETScreen)	2 173	2 188	0,7 %
B. Toronto, Ontario, Canada (données météo de DD-IL)	2 112	2 123	0,5 %
C. St Paul, Minnesota, États-Unis (données météo de DD-IL)	2 186	2 194	0,4 %
D. Uppsala, Suède (données météo de DD-IL)	2 492	2 492	0,0 %

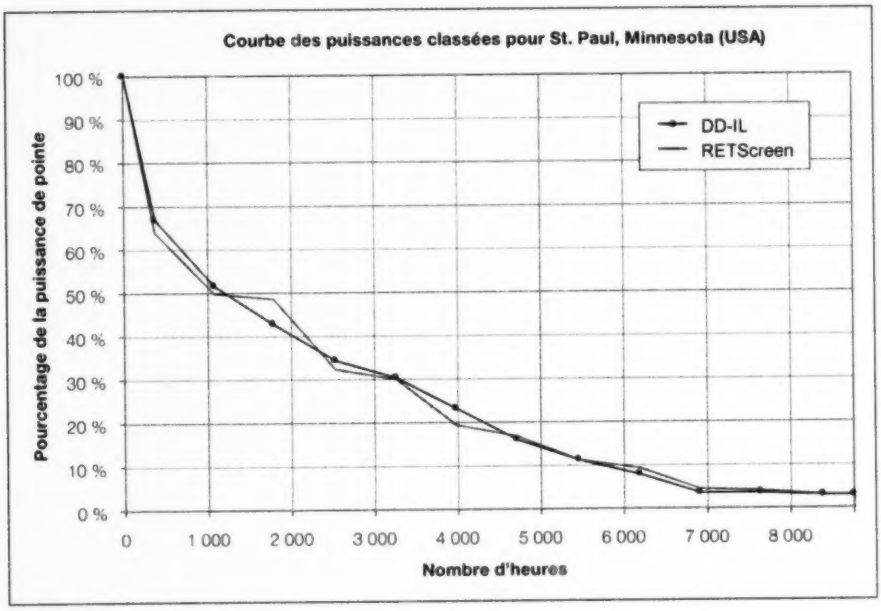
Tableau 8 : Comparaison des durées équivalentes à plein régime pour les différentes localités

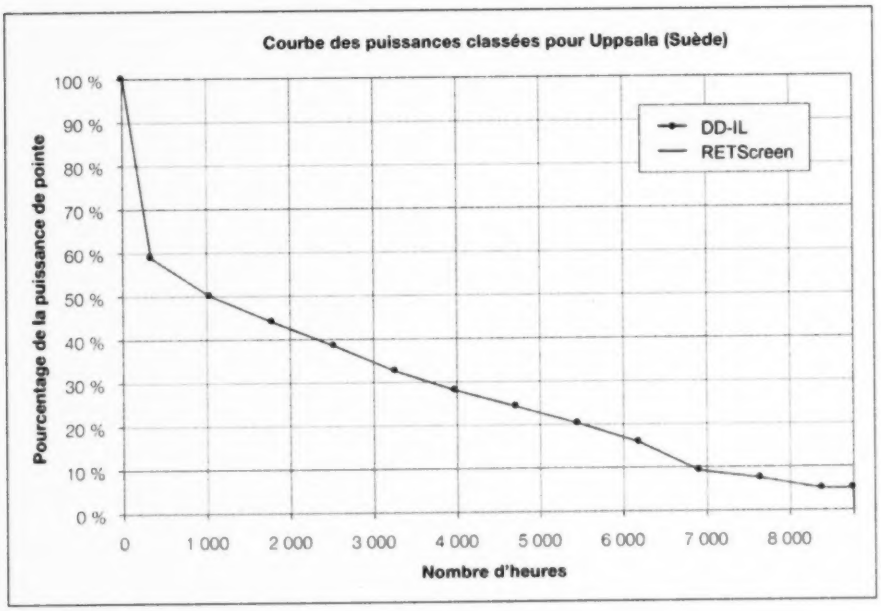




Figures 17a et 17b :

Courbes des puissances classées calculées avec DD IL et RETScreen pour les quatre villes





Figures 17c et 17d :

Courbes des puissances classées calculées avec DD-IL et RETScreen pour les quatre villes.

2.5.2 Validation du calcul des puissances calorifiques de la biomasse

Pour valider l'algorithme de calcul des puissances calorifiques utilisé dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse (voir *Section* 2.3.3), les résultats ont été comparés à ceux présentés à la réunion d'été de la Section Technique de l'Association des pâtes et papiers du Canada, tenue à Québec au Canada, du 6 au 8 juin 1955. Dans l'article intitulé *Determination of Bark Volumes and Fuel Properties*, les données avaient été établies pour trente usines de conversion du bois par le Laboratoire des produits forestiers Canadien et le *Federal Department of Mines and Technical Surveys*. Les analyses chimiques (approximative et élémentaire) des échantillons ont toutes été effectuées par un même laboratoire. Les valeurs calorifiques ont été analysées de façon statistique par le Laboratoire des produits forestiers avec les résultats suivants :

- **Âge des arbres :** il n'y a pas de corrélation entre les valeurs calorifiques des arbres et l'âge de ces arbres.

- **Origine géographique :** l'analyse des tests n'a pas montré de différences significatives des valeurs calorifiques d'arbres provenant de zones distinctes.

- **Espèces d'arbres :** les tests montrent des différences significatives des valeurs calorifiques des diverses espèces d'arbres dans l'ordre décroissant suivant : 1) Sapin baumier, 2) Pin gris, 3) Peuplier, 4) Épinette.

Le ***Tableau 9*** présente les pouvoirs calorifiques des divers échantillons étudiés dans les tests. Ces valeurs ont été comparées à celles proposées dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse pour la valeur du pouvoir calorifique des résidus de bois, qui varient d'une valeur inférieure de 17 723 MJ/t, jusqu'à une valeur supérieure de 19 760 MJ/t (moyenne de 18 673 MJ/t). Les variations obtenues selon ce test sont de +/ - 3 % pour le pin gris et de - 5 % pour l'épinette noire. Les estimations données par le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse sont donc amplement suffisantes pour un projet qui en est au stade de l'analyse de préfaisabilité.

Les valeurs du pouvoir calorifique supérieur données par l'algorithme utilisé dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse (équation 27) ont aussi été comparées à celles de 55 échantillons évalués par le *US National Renewable Energy Laboratory* (NREL) dans le sous-contrat TZ-2-11226-1 (février 1996). La ***Figure 18*** compare les valeurs mesurées à celles prédites par RETScreen. La différence moyenne entre les tests de laboratoire et le modèle RETScreen est de 3,41 % avec un écart-type de 3,75 %. Les différences entre les résultats sont acceptables considérant que les variations typiques du taux d'humidité de la biomasse au cours d'une année peuvent excéder 15 %.

	Nombre d'échantillons	Pouvoir calorifique (MJ/t)		
		Moyenne	Minimum probable	Maximum probable
Sapin baumier toutes variétés	28	21 167	20 911	21 422
Épinette noire	15	20 027	18 957	20 259
Épinette blanche	11	19 841	19 399	20 073
Épinette rouge	3	20 073		
Pin gris	12	20 771	20 213	21 329
Peuplier	6	20 492	20 004	20 981
Bouleau blanc	3	23 981		
Bouleau jaune	2	21 399		
Érable à sucre	2	19 143		
Érable mou	1	18 841		
Orme mou	1	17 678		
Hêtre à grandes feuilles	1	17 771		
Mélèze	1	20 957		
Hemlock de l'est	1	20 678		

Tableau 9 : Pouvoir calorifique mesuré sur des écorces d'arbres de l'est du Canada.

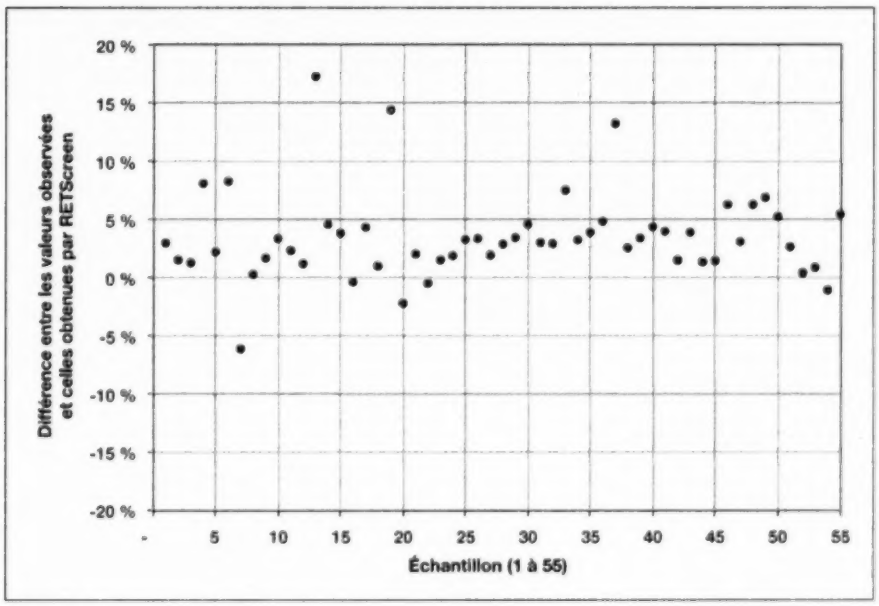


Figure 18 :

Différences observées pour 55 échantillons de bois entre les pouvoirs calorifiques supérieurs mesurés et ceux obtenus par RETScreen.

2.5.3 Validation de la conception du réseau de chauffage urbain

Les algorithmes utilisés dans le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse pour concevoir un réseau de chauffage urbain (voir *Section* 2.4) ont été validés à l'aide du programme R22 d'ABB. Le programme R22, développé par la division atomique d'ABB pour calculer le dimensionnement de la tuyauterie des systèmes de distribution de chaleur, a été utilisé de manière intensive dans les pays scandinaves pour la conception de réseaux de chauffage urbain.

Le ***Tableau 10*** montre la taille des tuyaux calculés par le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse et les valeurs calculées par le programme R22. Les valeurs calculées par les deux programmes sont tout à fait comparables. Le modèle RETScreen tend à être un peu plus conservateur que le modèle R22, ce qui est intentionnel puisque le modèle R22 est un outil de conception détaillée, alors que le modèle RETScreen est un outil d'analyse de faisabilité. Le choix du diamètre des tuyaux est aussi fonction de l'investissement que l'on désire faire dans le projet. Si les budgets sont restreints, le concepteur aura tendance à tolérer des pertes de charge plus élevées. Le dimensionnement proposé est tout de même adéquat pour éviter des problèmes liés au bruit et à l'érosion de la tuyauterie.

Théoriquement, les tuyaux de la boucle principale de distribution de chaleur devraient être dimensionnés de manière à permettre de faibles pertes de charge, alors que des pertes de charge plus élevées sont tolérées dans les boucles secondaires de distribution pour minimiser la puissance de pompage nécessaire et les coûts d'investissement. Cependant, il est courant que l'espace disponible limité et des budgets restreints obligent à réduire le diamètre de la boucle principale. D'un autre côté, il est habituel de surdimensionner les boucles secondaires de distribution puisque les charges de chauffage des clients ne sont pas connues avec précision et afin d'éviter la génération de bruit.

Données d'entrée				Résultats de RETScreen	Résultats de ABB-R22	Résultats de ABB-R22
Température d'alimentation (°C)	Température de retour (°C)	Delta T (°C)	Puissance (kW)	Diamètre des tuyaux DN	Diamètre des tuyaux DN	Pertes de charges[11] mm_{H2O}/m
95	65	30	25	32	25	4,9
95	65	30	50	32	32	5,3
95	65	30	75	40	32	11,5
95	65	30	100	50	40	9,4
95	65	30	200	50	50	10,8
95	65	30	250	65	65	4,5
95	65	30	400	65	65	11,2
95	65	30	420	80	65	12,3
95	65	30	720	80	80	15,4
95	65	30	740	100	100	4,3
95	65	30	1 250	100	100	11,8
95	65	30	1 260	125	100	12,0
95	65	30	2 260	125	125	12,6
95	65	30	2 270	150	125	12,7
95	65	30	3 830	150	150	13,3
95	65	30	4 250	N/A	200	4,0
120	75	45	50	32	25	8,4
120	75	45	90	32	32	7,4
120	75	45	100	40	32	9,1
120	75	45	140	40	40	8,1
120	75	45	150	50	40	9,3
120	75	45	300	50	50	10,7
120	75	45	310	65	50	11,4
120	75	45	620	65	65	11,8
120	75	45	630	80	65	12,2
120	75	45	1 090	80	80	15,6
120	75	45	1 100	100	100	4,2
120	75	45	1 880	100	100	11,8
120	75	45	1 900	125	100	12,1
120	75	45	3 400	125	125	12,6
120	75	45	3 450	150	125	13,0
120	75	45	5 750	150	150	13,3
120	75	45	6 400	N/A	200	4,1

Tableau 10 : Comparaison des diamètres pour la tuyauterie suggérés par RETScreen avec ceux suggérés par le programme R22 d'ABB.

11. mm_{H2O}/m : millimètre d'eau par mètre de tuyau.

2.6 Sommaire

Dans cette section, les algorithmes utilisés par le modèle RETScreen pour projets de chauffage à la biomasse ont été présentés en détail. Ce modèle utilise une combinaison d'algorithmes qui permettent de prédire l'énergie fournie sur une base annuelle, par un système de chauffage à la biomasse. Les courbes des puissances et des énergies classées sont obtenues à partir des valeurs mensuelles de degrés-jours spécifiés par l'utilisateur. Les charges énergétiques pour la production d'eau chaude sanitaire ont aussi été incluses dans les charges de chauffage en définissant des degrés-jours équivalents. La puissance du système de chauffage de pointe est obtenue en fonction de la température de calcul spécifiée par l'utilisateur et à partir de la charge de chauffage pour chaque groupe de bâtiments. La courbe des énergies classées est utilisée pour prévoir la fraction de la puissance assurée par chacun des trois systèmes de chauffage (système de récupération de chaleur, système de combustion de la biomasse et le système de chauffage de pointe) en fonction de leurs capacités respectives. Le calcul de l'énergie de chauffage et des besoins en biomasse peut alors être réalisé. La consommation de biomasse dépend notamment du type de biocombustible utilisé. Enfin, un algorithme différent est utilisé pour le dimensionnement préliminaire du réseau de distribution.

Plusieurs parties du modèle ont été validées par comparaison avec d'autres programmes ou avec des résultats publiés dans la littérature. En dépit de la simplicité du modèle, sa précision se révèle acceptable, du moins pour un projet qui en est au stade de préfaisabilité, en le comparant à d'autres outils informatiques ou à des données expérimentales.

RÉFÉRENCES

Arkay, K. et Blais, C., **The District Energy Option in Canada**, Groupe des systèmes énergétiques dans les collectivités, CANMET, Ressources naturelles Canada, 1996.

ASHRAE, **Handbook, Fundamentals, SI Edition**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA, 30329, USA, 1997.

ASTM International, **Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter**, ASTM E711-87 (1996).

Avallone, E.A. et Baumeister, T., **Marks Standard Handbook for Mechanical Engineers**, McGraw-Hill, Inc., ISBN 0070049971, 1996.

Groupe des systèmes énergétiques dans les collectivités, « Communication personnelle », CTEC de Ressources naturelles Canada (RNCan), 1997.

Hayden, S., « Communication personnelle », CTEC de Ressources naturelles Canada (RNCan), 1997.

McCallum, B., **Case Studies of Small Commercial Biomass Combustion Systems in PEI**, Ressources Naturelles Canada, juin 1995.

McCallum, B., **Les petites installations de chauffage à la biomasse automatisées : une option viable pour les communautés éloignées?**, Centre de Foresterie des Grands Lacs et LRDEC de Ressources naturelles Canada (RNCan), 1997.

RNCan, **Les Petites Installations de Chauffage à la Biomasse : Guide de l'Acheteur**, Ressources naturelles Canada (RNCan), Division de l'énergie renouvelable et électrique (DÉRÉ), ISBN 0-662-28899-8, Catalogue nº M92-186/2000E, 52 pages, 2002.

Randløv, P., **District Heating Handbook**, European District Heating Pipe Manufacturers Association, ISBN87-90488-00-8, 1997.

Sykes, B., « Communication personnelle », Ressources naturelles Canada et Service canadien des forêts, 1997.